



# **Desenvolvimento de uma aplicação informática para aferir a viabilidade técnica de métodos de luta contra geadas em fruticultura**

**Ivan Rafael Nunes dos Santos**

Dissertação para obtenção de Grau de Mestre em  
**Engenharia Agronómica**

Orientador: Prof. Doutor José Paulo de Melo e Abreu

## **Júri:**

Presidente:

Doutor Joaquim Miguel Rangel da Cunha Costa, Professor auxiliar do(a) Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

Vogais:

Doutor José Paulo Mourão de Melo e Abreu, Professor associado com agregação do(a) Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa, orientador;

Doutor Miguel António Leão de Sousa, Investigador auxiliar do(a) Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária.

## Agradecimentos

Gostava de expressar o meu agradecimento a todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para este trabalho.

Ao meu orientador Professor José Paulo de Melo e Abreu pela excelente orientação nas fases cruciais de definição da dissertação e por ter acreditado nas minhas capacidades em desenvolver um projeto fora das minhas competências.

A todos os meus amigos e colegas que me acompanharam durante todo o meu percurso académico, com um especial agradecimento para Rita Lopes, por toda a disponibilidade e transmissão de conhecimentos relacionados com programação.

Ao Banco Santander Totta por gratificar e premiar o esforço dos alunos universitários, através do prémio Santander Universidades/Instituto Superior de Agronomia.

Agradeço a todas as pessoas que de alguma forma despertaram em mim o interesse pelos desafios que o mundo agrícola atravessa, levando-me a desenvolver trabalho fora da minha zona de conforto.

Por último, e não menos importante, quero agradecer à minha família pelo apoio e por acreditarem em mim. O vosso apoio foi fundamental e motivante durante todo o mestrado.

Um sincero obrigado a todos vós.

**Resumo:**

A geada consiste na ocorrência de uma temperatura do ar de 0°C ou inferior, medida em abrigo meteorológico apropriado. A denominação atribuída aos danos causados pela geada nas espécies vegetais é geladura, sendo considerada uma causa importante nas perdas de produção agrícola. Com as alterações climáticas temos assistido a um aquecimento global do planeta, no entanto, os danos provocados pelas geadas durante o período de crescimento das culturas tenderá a aumentar, visto que estas mudanças no clima promovem a antecipação da produção vegetal a uma taxa superior à taxa de antecipação da data da última geada primaveril.

Os métodos de luta contra geadas existem, mas parecem subutilizados face às perdas desastrosas associadas a este fenómeno. As razões para a baixa percentagem de utilização de métodos de proteção contra geada por parte dos agricultores são os custos de implementação versus retorno e o tempo de gestão envolvido.

Os novos métodos de engenharia para recolher dados permitem o controlo de processos reais complexos. Transferir e integrar a informação sobre a metodologia e gestão de proteção contra geadas num programa informático ajudaria no processo de tomada de decisão e, assim, poderia reduzir o tempo de gestão gasto pelos produtores.

O objetivo deste trabalho consistiu em criar um programa capaz de suprimir as dúvidas dos agricultores relativamente ao método de luta contra geadas a utilizar.

Neste estudo foram demonstrados os processos utilizados para conceber a aplicação. Desde do pensamento base utilizado, incluindo os fluxogramas que definem o mecanismo como o programa analisa os dados, até à forma de limitação da ação do utilizador.

No final do estudo foi possível concluir que o programa criado desempenha a sua função na totalidade e que a criação de sistemas de apoio à tomada de decisão podem ser uma das soluções para resolver problemas complexos da agricultura.

**Palavras-chave:** Fruticultura; Geadas; Geladura; Resistência às geadas; Sistema de apoio à tomada de decisão.

**Abstract:**

Frost is the occurrence when the air temperature reaches 0°C or less, measured by an appropriate meteorological shelter. The given name to the damage caused by frost on plant species is frostbite and it is an important cause of losses in agricultural production. With climate changes we are witnessed a global warming of the planet. However, the damage caused by frost during the growing season will tend to increase, since these changes are promoting an anticipation in crop production, which results in a higher rate of anticipation than the one observed in the last spring frost.

Methods of frost protection exist, but they seem underutilized in view of the disastrous losses associated with this phenomenon. The reasons for the low percentage of farmers using frost protection methods are the implementation cost versus return and the time management involved.

New engineering methods for data collecting allow the management of complex real processes. Transferring and integrating information of frost protection methodology and management into a computer program would help the decision making process and, thus, it could reduce the time management spent by producers.

The aim of this work is to create a program capable of eliminating farmers' doubts about the method of frost protection to be used.

With this study, the processes used to design the application are demonstrated. From the basic thinking used, including the flowcharts that define the mechanism as the program analyses the data, to the form of limiting user action.

In conclusion, the program performs well, thus fulfilling the function for which it was created for. This decision support system is able to assist the user to sort out the complex problems that are equated at the time to select a frost protection method.

**Keywords:** Decision support system; Frost; Frostbite; Frost resistance; Fruticulture.

## Índice:

Agradecimentos .....	I
Resumo:.....	II
Abstract:.....	III
Índice: .....	IV
Lista de Figuras:.....	VI
Lista de quadros:.....	VIII
Lista de abreviaturas: .....	IX
1. Introdução:.....	1
2. As Geadas.....	2
2.1. Conceito de geadas e condições de ocorrência.....	2
2.2. Caracterização do processo de arrefecimento noturno.....	2
2.2.1. Diferenças no processo de arrefecimento relativo às geadas brancas e negras.....	5
2.3. Influência da topografia na frequência e severidade das geadas.....	5
2.4. Geladura.....	7
2.4.1. Tipologia de danos.....	7
2.4.2. Variação da resistência das plantas às geadas .....	8
2.5. Definição das temperaturas críticas .....	8
3. A importância da previsão e monitorização de geadas .....	9
3.1. Sistemas de apoio à tomada de decisão nas geadas .....	10
4. Classificação dos métodos de luta contra geadas .....	12
4.1. Métodos Indiretos: .....	13
4.1.1. Seleção do local de cultura: .....	13
4.1.2. Modificação da paisagem com o fim de atuar sobre o microclima (controlo da drenagem de ar frio): .....	14
4.1.3. Manutenção da condutividade térmica alta com recurso à rega:.....	15
4.1.4. Seleção e melhoramento de cultivares: .....	15
4.1.5. Gestão das copas das árvores:.....	15
4.1.6. Gestão da nutrição de plantas: .....	16
4.1.7. Alteração da condução e poda da cultura: .....	16
4.1.8. Proteção dos troncos com recurso a coberturas ou pinturas:.....	16
4.1.9. Cobertura de plantas: .....	17
4.1.10. Atuação sobre o solo, supressão de infestantes e “mulches”:.....	17

4.1.11. Atraso do desenvolvimento fenológico com recurso à rega: .....	18
4.1.12. Químicos para atrasar a floração: .....	18
4.2. Métodos Diretos: .....	18
4.2.1. Utilização de nevoeiros artificiais: .....	18
4.2.2. Aquecimento direto do ar com recurso a aquecedores: .....	19
4.2.3. Mistura de ar, aumentando a temperatura das camadas superficiais à custa de ar quente suprajacente, utilizando ventiladores ou helicópteros: .....	19
4.2.4. Utilização do calor sensível e do calor latente associados às mudanças de fase da água.....	20
5. Materiais e métodos: .....	22
5.1. Objetivo geral .....	22
5.2. Compilação dos atributos necessários e suficientes para seleção dos métodos aplicáveis.....	22
5.3. Opção de codificação: Excel e o VBA.....	22
5.3.1. Justificação das ferramentas utilizadas.....	23
5.4. Metodologia de base aplicada na formulação do programa .....	23
5.4.1. Conceção do código e funcionamento do programa .....	25
5.5. Exposição analítica dos processos executados pelo programa .....	26
5.5.1. Aditivos fundamentais ao correto desempenho do programa.....	28
5.6. Formulação e exibição de resultados .....	28
5.7. Depuração do programa.....	29
5.8. Ordenação dos métodos selecionados .....	29
6. Resultados da criação do programa .....	31
6.1. Exibição da interface do programa .....	31
6.2. Validação do programa. Casos de estudo .....	36
7. Discussão .....	39
7.1. Limites de utilização do programa .....	39
7.2. Melhoramentos futuros .....	40
8. Conclusões e considerações finais.....	43
Bibliografia: .....	44
Anexos .....	50

## Lista de Figuras:

Figura 1 - Balanço padrão da radiação durante o período diurno e noturno. Adaptado de: Snyder e De Melo-Abreu (2005) .....	3
Figura 2 - Convenção dos respetivos sinais das diferentes formas de transferência de energia. Adaptado de: Snyder e De Melo-Abreu (2005). ....	3
Figura 3 - Balanço de energia durante uma noite de geada de radiação. Adaptado de: Snyder e De Melo-Abreu (2005). ....	4
Figura 4 - Perfil de temperaturas numa noite de geadas em Carrazeda de Ansiães. Extraído de: Ribeiro (2003). ....	4
Figura 5 - Ilustração da variação da temperatura durante uma noite de geada branca. Extraído de: De Melo-Abreu (2018). ....	5
Figura 6 - Ilustração da variação da temperatura durante uma noite de geada negra. Extraído de: De Melo-Abreu (2018). ....	5
Figura 7 - Efeito da elevação na temperatura. Tendo <i>P. Avize</i> e <i>Les Briquettes</i> situações de planalto e <i>Cramant</i> uma situação de encosta. Extraído de: Bouchet (1965). ....	6
Figura 8 - Esquema relativo aos métodos de resistência das plantas à geada. Extraído de: De Melo-Abreu e Ribeiro (2010). ....	8
Figura 9 - Fluxo de drenagem de ar frio controlado por uma parede. Adaptado de: Snyder e De Melo-Abreu (2005). ....	14
Figura 10 - Efeito dos ventiladores sobre a temperatura das camadas suprajacentes à cultura. Adaptado de: Snyder e De Melo-Abreu (2005). ....	20
Figura 11 - Esquema descritivo do processo base utilizado na conceção da aplicação. ....	24
Figura 12 - Fluxograma explicativo dos caminhos possíveis que o programa pode tomar, consoante as respostas do utilizador, no caso do método 19. ....	27
Figura 13 - Esquema exemplificativo do processo de aceitação que o programa executa após a validação de qualquer um dos métodos. ....	27
Figura 14 - Folha “Instruções” da interface do programa. O botão que permite prosseguir com o programa encontra-se realçado no canto inferior direito. ....	32
Figura 15 - Folha “Programa” da interface do programa que expõe o formulário a preencher pelo utilizador (Parte 1) e a respetiva lista de respostas disponíveis para a pergunta 1. Os botões que permitem apagar as respostas dadas anteriormente ou verificar os métodos encontram-se realçados no canto superior direito. ....	33
Figura 16 - Folha “Programa” da interface do programa que expõe o formulário a preencher pelo utilizador (Parte 2). ....	33

Figura 17 - Folha “Programa” da interface do programa que expõe o formulário a preencher pelo utilizador (Parte 3) e as respetivas hiperligações de auxílio à realização do formulário. ....	34
Figura 18 - Folha “Resultados” da interface do programa que expõe os resultados obtidos ao utilizador. ....	35
Figura 19 - Folha “Ajuda” da interface do programa que expõe as ajudas disponíveis para o utilizador consultar durante a realização do formulário. ....	36
Figura 20 - Resultados obtidos pelo programa para o Caso 1. ....	38
Figura 21 - Resultados obtidos pelo programa para o Caso 2. ....	55
Figura 22 - Resultados obtidos pelo programa para o Caso 3. ....	57
Figura 23 - Resultados obtidos pelo programa para o Caso 4. ....	59
Figura 24 - Resultados obtidos pelo programa para o Caso 5. ....	61
Figura 25 - Resultados obtidos pelo programa para o Caso 6. ....	63
Figura 26 - Resultados obtidos pelo programa para o Caso 7. ....	65
Figura 27 - Resultados obtidos pelo programa para o Caso 8. ....	67
Figura 28 - Resultados obtidos pelo programa para o Caso 9. ....	69
Figura 29 - Resultados obtidos pelo programa para o Caso 10. ....	71
Figura 30 - Fluxogramas explicativos dos caminhos possíveis que o programa pode tomar, consoante as respostas do utilizador, no caso dos métodos 1 e 2. ....	72
Figura 31 - Fluxogramas explicativos dos caminhos possíveis que o programa pode tomar, consoante as respostas do utilizador, no caso dos métodos 3 e 4. ....	73
Figura 32 - Fluxogramas explicativos dos caminhos possíveis que o programa pode tomar, consoante as respostas do utilizador, no caso dos métodos 5 e 6. ....	74
Figura 33 - Fluxogramas explicativos dos caminhos possíveis que o programa pode tomar, consoante as respostas do utilizador, no caso dos métodos 7, 8, 9, 10 e 12. ....	75
Figura 34 - Fluxogramas explicativos dos caminhos possíveis que o programa pode tomar, consoante as respostas do utilizador, no caso dos métodos 11 e 13. ....	76
Figura 35 - Fluxogramas explicativos dos caminhos possíveis que o programa pode tomar, consoante as respostas do utilizador, no caso dos métodos 14 e 15. ....	77
Figura 36 - Fluxogramas explicativos dos caminhos possíveis que o programa pode tomar, consoante as respostas do utilizador, no caso dos métodos 16 e 17. ....	78
Figura 37 - Fluxogramas explicativos dos caminhos possíveis que o programa pode tomar, consoante as respostas do utilizador, no caso dos métodos 18, 19 e 21. ....	79
Figura 38 - Fluxogramas explicativos dos caminhos possíveis que o programa pode tomar, consoante as respostas do utilizador, no caso dos métodos 20, 22 e 23. ....	80
Figura 39 - Fluxograma explicativo dos caminhos possíveis que o programa pode tomar, consoante as respostas do utilizador, no caso do método 24. ....	81



## Lista de quadros:

Quadro 1 - Listagem dos métodos diretos e indiretos a abordar ao longo da dissertação.	13
Quadro 2 - Exposição das respostas dadas ao formulário do programa para o Caso 1.	37
Quadro 3 - Identificação auxiliar dos métodos presentes no programa, permitindo a compreensão dos respetivos fluxogramas de processos.	50
Quadro 4 - Listagem das questões realizadas pelo programa ao utilizador.	51
Quadro 5 - Listagem das questões realizadas pelo programa ao utilizador (continuação).	52
Quadro 6 - Descrição dos ganhos energéticos associados a cada método. Adaptado de: Snyder & De Melo-Abreu (2005).	52
Quadro 7 - Enumeração das questões presentes no formulário que excluem cada método. Nota: o símbolo "]" representa a acoplação de perguntas que apenas excluem o método caso seja respondido a essas perguntas determinadas respostas.	53
Quadro 8 - Exposição das respostas dadas ao formulário do programa para o Caso 2.	53
Quadro 9 - Exposição das respostas dadas ao formulário do programa para o Caso 3.	55
Quadro 10 - Exposição das respostas dadas ao formulário do programa para o Caso 4.	57
Quadro 11 - Exposição das respostas dadas ao formulário do programa para o Caso 5.	59
Quadro 12 - Exposição das respostas dadas ao formulário do programa para o Caso 6.	61
Quadro 13 - Exposição das respostas dadas ao formulário do programa para o Caso 7.	63
Quadro 14 - Exposição das respostas dadas ao formulário do programa para o Caso 8.	65
Quadro 15 - Exposição das respostas dadas ao formulário do programa para o Caso 9.	67
Quadro 16 - Exposição das respostas dadas ao formulário do programa para o Caso 10.	69

### **Lista de abreviaturas:**

INA – Ice-nucleation active | Bactérias ativas no processo de nucleação

T<sub>a</sub> – Temperatura do ar

T<sub>c</sub> - Temperatura crítica

DSS – Decision support system | Sistema de apoio à decisão

VBA – Visual Basics for Applications

MACRO - Sub-rotina que não tem parâmetros de entrada e que executa cálculos e/ou ações

ha – Hectares

## 1. Introdução:

Com as alterações climáticas temos assistido a um aquecimento global do planeta, no entanto, os danos provocados pelas geadas durante o período de crescimento das culturas tenderá a aumentar, visto que estas mudanças no clima promovem a antecipação da produção vegetal a uma taxa superior à taxa de antecipação da data da última geada primaveril (Snyder e De Melo-Abreu, 2005). O potencial das alterações climáticas para influenciar a frequência e a distribuição das geadas é incerto, mas parece provável que se tornem mais frequentes em algumas regiões e noutras menos frequentes (Hänninen, 2016; Vitasse *et al.*, 2014). Devido à enorme pressão exercida pelas alterações climáticas, as espécies vegetais têm enfrentado uma escolha entre o desenvolvimento precoce para maximizar a duração do período de crescimento e o desenvolvimento tardio para evitar o dano da geada (Augspurger, 2013; Bennie *et al.*, 2010). Por outro lado, tem sido argumentado que o aumento da temperatura no final do inverno e início da primavera pode desencadear a "*falsa primavera*", isto é, um início precoce de crescimento seguido de períodos de frio, resultando num aumento dos danos causados pela geada (Ma *et al.*, 2019). As espécies que sofrem início precoce do crescimento vegetativo (espécies com taxas de resposta ao aquecimento global superiores), apresentam maior risco de danos causados pela geada, enquanto as espécies que têm maiores necessidades de frio, podem sofrer atrasos no início do desenvolvimento (espécies com taxas de resposta ao aquecimento global inferiores) e, apresentam menor risco de danos causados pela geada (Ford *et al.*, 2016; Hufkens *et al.*, 2012).

Deste modo, podem ter efeitos ecológicos significativos e de longo prazo. A uma escala geográfica e sazonal, a geada pode determinar a distribuição de plantas e animais, limitando o crescimento e a produção das plantas (Inouye, 2008). Geograficamente, comparando áreas continentais, marítimas e costeiras, verifica-se que, na Europa, as áreas marítimas e costeiras estão mais expostas ao aumento da ocorrência de geadas e estas geadas no final da primavera apresentam maior prejuízo para as culturas (Ma *et al.*, 2019).

Ao longo do território nacional, o risco de geadas está definido como médio a alto, para as zonas norte e centro, e risco baixo para a zona sul (Instituto Português do Mar e da Atmosfera, 2012). Por outro lado, os agricultores encontram-se em mercados cada vez mais competitivos, o que os leva a tentar antecipar as suas colheitas com a finalidade de obter um melhor preço de mercado, sujeitando as culturas a maiores riscos de danos por geadas (De Melo-Abreu, 2018).

As geadas afetam o crescimento e a reprodução das culturas, provocando avultados prejuízos económicos (Warmund *et al.*, 2008). De acordo com Snyder e De Melo-Abreu (2005), os prejuízos económicos associados a geadas são superiores a qualquer outro

fenómeno meteorológico, sendo necessário avaliar o custo-benefício de uma possível intervenção para controlo deste problema.

Os prejuízos provocados pelas geadas têm vindo a tornar-se num problema fulcral para os agricultores, devastando algumas produções, suscitando, assim, a necessidade de intervenção para controlo destas perdas. Com o objetivo de ajudar os agricultores é proposto o desenvolvimento de uma aplicação para aferir a viabilidade técnica de métodos de luta contra geadas, facilitando o modo de ação dos agricultores.

## **2. As Geadas**

### **2.1. Conceito de geadas e condições de ocorrência**

A geada consiste na ocorrência de uma temperatura do ar de 0°C ou inferior, medida em abrigo meteorológico apropriado. Para que ocorra formação de cristais sobre os objetos que se encontram a este nível, é preciso que o ar envolvente dos mesmos atinja o ponto de saturação a uma temperatura superior à temperatura mínima atingida, iniciando-se a condensação e a sua posterior congelação. Contudo, na ausência de turbulência do ar e com grande radiação efetiva, a temperatura do ar não corresponde à temperatura superficial dos objetos, sendo esta última, por vezes, alguns graus inferior. A geada acompanhada pela formação de cristais de gelo produzidos pela congelação do orvalho, ou pela sublimação de vapor de água, denomina-se *geada branca*. Esta não é um sintoma de geladura, caso o limite de resistência das plantas não seja atingido. Por outro lado, quando o ponto de orvalho é mais baixo que a temperatura negativa nefasta atingida pelos órgãos vegetais, estes apresentam aspeto necrótico, parecendo “queimados”, e estamos perante uma *geada negra* (De Melo-Abreu, 2018; De Melo-Abreu e Ribeiro, 2010).

De acordo com De Melo-Abreu (2018), quanto à sua origem as geadas podem ser classificadas segundo três tipos: de advecção, de evaporação e de radiação. As geadas de advecção resultam da intrusão de massas de ar frio (polares) em determinado local e são caracterizadas de céu nublado, ventos moderados a fortes, sem inversão térmica e baixa humidade do ar. As geadas de evaporação ocorrem após a queda de aguaceiros de gotas frias, com vento intenso e seco, provocando uma rápida secagem da vegetação, levando-a a alcançar temperaturas negativas. Por último, as geadas radiativas são acompanhadas por um céu limpo, ponto de orvalho baixo, fraca turbulência atmosférica (vento fraco) e por um balanço energético da superfície terrestre negativo.

### **2.2. Caracterização do processo de arrefecimento noturno**

A transferência de energia determina quão frio o ar irá ficar e a eficácia dos métodos de luta contra geadas.

O balanço de energia é feito tendo como base a seguinte equação.

$$R_n = G + H + LE$$

Onde, durante a noite,  $R_n$  representa o balanço entre a radiação atmosférica e a radiação terrestre,  $G$  o fluxo de calor proveniente do solo,  $H$  o fluxo de calor sensível da superfície para o ar e  $LE$  o fluxo de calor latente da superfície para o ar. Na Figura 1, está esquematizado o balanço padrão da radiação durante o período diurno e noturno, e na Figura 2 a convenção dos sinais das respetivas formas de transferência de energia.

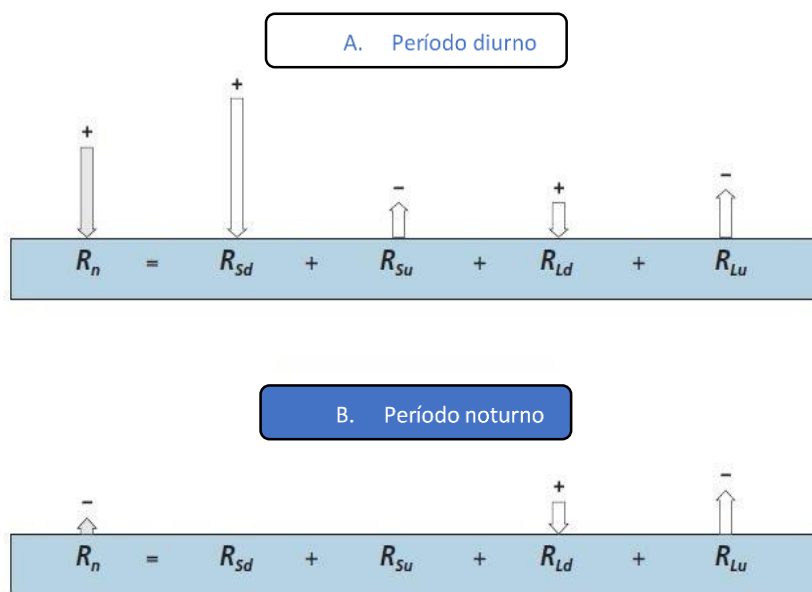


Figura 1 - Balanço padrão da radiação durante o período diurno e noturno. Adaptado de: Snyder e De Melo-Abreu (2005).  $R_n$  – Radiação líquida;  $R_{sd}$  – Radiação de curto comprimento de onda de sentido descendente;  $R_{su}$  – Radiação de curto comprimento de onda de sentido ascendente;  $R_{ld}$  – Radiação de longo comprimento de onda de sentido descendente;  $R_{lu}$  – Radiação de longo comprimento de onda de sentido ascendente.

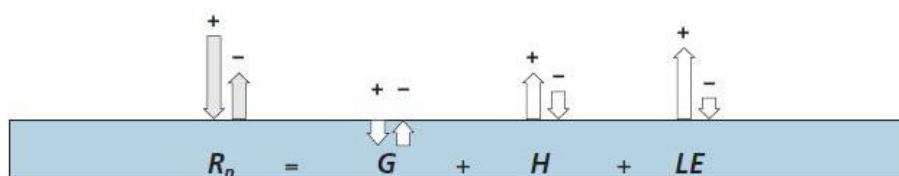


Figura 2 - Convenção dos respetivos sinais das diferentes formas de transferência de energia. Adaptado de: Snyder e De Melo-Abreu (2005).  $R_n$  – Radiação Líquida;  $G$  – Fluxo de calor do solo;  $H$  – Fluxo de calor sensível;  $LE$  – Fluxo de calor latente.

Durante uma noite de geada, as perdas radiantes não são compensadas por parte do fluxo de calor sensível do ar para solo, por parte das libertações de calor latente dessa superfície e por parte da condução de calor pelo solo para a superfície (Figura 3).

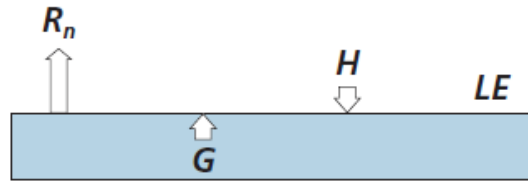


Figura 3 - Balanço de energia durante uma noite de geada de radiação. Adaptado de: Snyder e De Melo-Abreu (2005).

Este balanço promove o arrefecimento da superfície, criando-se um fenómeno cíclico de arrefecimento. À medida que o ar entra em contacto com esta vai cedendo-lhe calor, arrefece, torna-se mais denso e acumula-se junto a esta superfície, promovendo, assim, o arrefecimento mútuo do ar e da superfície. Caso exista pouca agitação do ar, a perda de energia vai sentir-se até uma altura que não para de aumentar. Assim, à medida que subimos na troposfera a temperatura vai subindo, isto é, uma inversão térmica do que acontece durante o dia (Figura 4). Uma maior intensidade da inversão térmica, ou seja, maior diferença entre a temperatura à superfície e a temperatura a dada altura, favorece o desempenho eficaz de muitos sistemas de proteção ativa contra geadas.

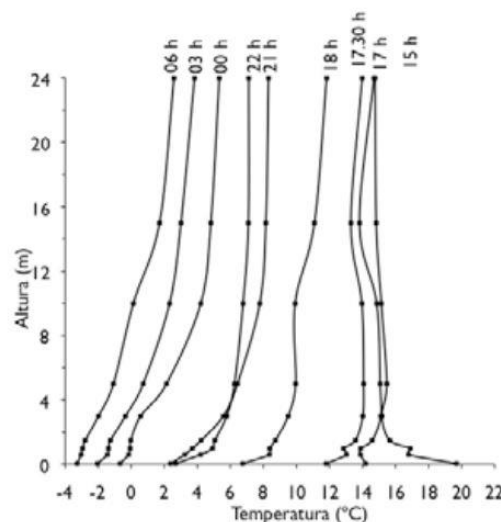


Figura 4 - Perfil de temperaturas numa noite de geadas em Carrazeda de Ansiães. Extraído de: Ribeiro (2003).

A intensidade da inversão térmica é condicionada substancialmente pela temperatura durante o dia (quanto maior a temperatura verificada maior a intensidade da inversão térmica) e por todos os fenómenos que incrementam o arrefecimento superficial (abrangendo a baixa drenagem atmosférica e alguma turbulência junto à superfície) (De Melo-Abreu, 2018).

### 2.2.1. Diferenças no processo de arrefecimento relativo às geadas brancas e negras

No caso da geada branca, que acontece durante noites de alta humidade relativa e elevado ponto de orvalho, ocorre congelação do orvalho ou sublimação do vapor de água na formação de cristais de gelo sobre plantas e solo. Estes dois processos, que permitem a condensação do vapor de água e a congelação da água, levam à libertação de calor, que reduz significativamente a taxa de arrefecimento e os danos causados (Figura 5) (De Melo-Abreu, 2018).

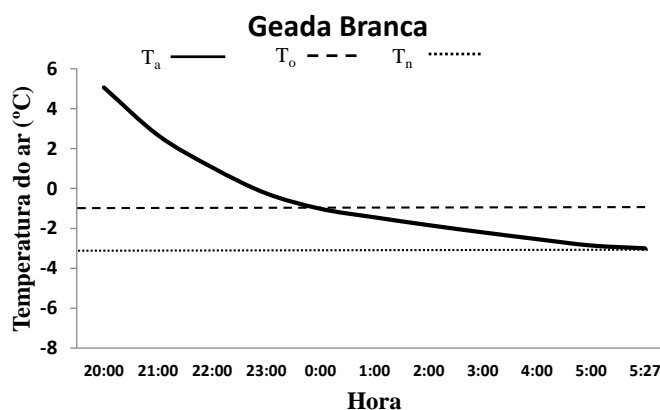


Figura 5 - Ilustração da variação da temperatura durante uma noite de geada branca. Extraído de: De Melo-Abreu (2018).

Em oposição, as geadas negras apresentam taxas de arrefecimento superiores, visto que o ponto de orvalho não é atingido, e, portanto, maiores prejuízos (Figura 6) (De Melo-Abreu, 2018; Jacobsen *et al.*, 2007; Ruiz, 1995).

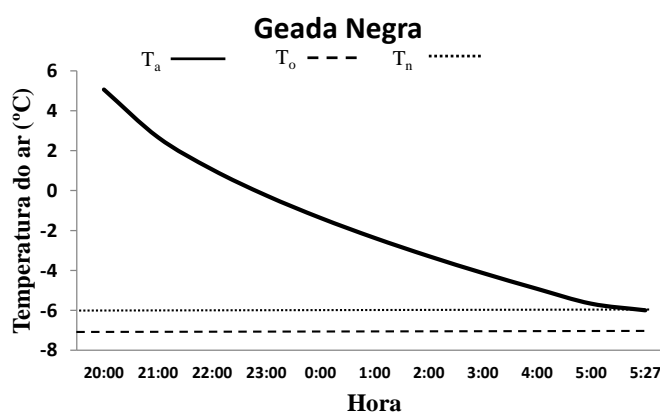


Figura 6 - Ilustração da variação da temperatura durante uma noite de geada negra. Extraído de: De Melo-Abreu (2018).

### 2.3. Influência da topografia na frequência e severidade das geadas

As alterações na frequência e intensidade de eventos extremos de temperatura, previstos com as alterações climáticas, constituem uma ameaça para a saúde das árvores em muitas áreas do mundo (Allen *et al.*, 2010; Park Williams *et al.*, 2013). Prevê-se que as regiões

do clima mediterrânico sejam especialmente sensíveis a mudanças em relação às temperaturas extremas (Diffenbaugh *et al.*, 2007; Giorgi e Lionello, 2008).

As mudanças nos regimes de temperatura podem afetar indiretamente as árvores, através da sua interação com a fenologia das árvores, causando uma desaclimação prematura das culturas na primavera (Jönsson *et al.*, 2004). Por outro lado, o aumento da temperatura durante a estação quente retarda a aclimação ao frio, tornando certas árvores mais suscetíveis a danos causados pela geada (Loveys *et al.*, 2006), e compromete mecanismos de proteção (Wayne *et al.*, 1998), afetando o desenvolvimento das culturas e respetivas produtividades (Hufkens *et al.*, 2012).

A análise ao nível da paisagem mostra que as posições topográficas de baixa altitude, incluindo encostas de níveis baixos, são as mais suscetíveis a danos por geada (Matusick *et al.*, 2014). As áreas baixas em topografia montanhosa acumulam ar frio quando o ar frio denso desce e fica preso sob uma camada de inversão durante noites de geadas de radiação, calmas e sem vento (Gustavsson *et al.*, 1998). Assim, originam, frequentemente, a formação de “buracos de geada” (isto é, formação de zonas mais propícias às geadas nas zonas baixas de vales) (Paton, 1988). “*Buracos de geada*” desenvolvem-se em uma ampla variedade de ecossistemas naturais (Hough, 1945; Motzkin *et al.*, 2002; Paton, 1988), incluindo regiões do Mediterrâneo (Daly *et al.*, 2010; Waco, 1968). As temperaturas mínimas nos “*Buracos de Geada*” podem atingir dezenas de graus a menos que a área circundante (Davidson e Reid, 1985; Dy e Payette, 2007).

De acordo com De Melo-Abreu (2018), Lomas *et al.* (1989) e Matusick *et al.* (2014), as isopletas de temperatura mínima acompanham aproximadamente as curvas de nível, havendo um aumento, aproximadamente linear, da temperatura com a elevação relativa. Conclui-se, assim, a existência de um aumento da frequência e severidade das geadas com a proximidade do fundo dos vales, sendo o dano das geadas inversamente proporcional à elevação (Figura 7).

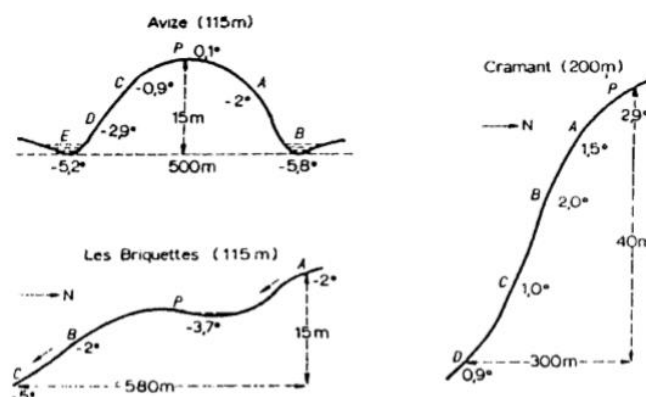


Figura 7 - Efeito da elevação na temperatura. Tendo P. Avize e Les Briquettes situações de planalto e Cramant uma situação de encosta. Extraído de: Bouchet (1965).



## 2.4. Geladura

A geladura, denominação atribuída aos danos causados pela geada nas espécies vegetais, é considerada uma causa importante nas perdas de produção agrícola. Deve-se, sobretudo, à dessincronização entre o ciclo vegetativo das plantas e as variações sazonais da temperatura. A geladura apresenta danos superiores quando associada a geadas tardias de primavera e a precoces de outono, visto que as espécies vegetais se encontram fora do período de dormência, logo a sua geado-resistência é inferior (De Melo-Abreu e Ribeiro, 2010). Por vezes, os prejuízos só se refletem nos anos seguintes. De Melo-Abreu e Ribeiro (2010), propõem a hipótese que os danos associados às geadas ocorrem, principalmente, por ação da temperatura atingida pelos órgãos vegetais e não pela duração da temperatura mínima.

### 2.4.1. Tipologia de danos

Os danos diretos causados pela geada ocorrem quando existem cristais de gelo formados dentro do protoplasma das células (congelação intracelular), enquanto que os danos indiretos surgem quando o gelo se desenvolve dentro do tecido vegetal mas fora das células (congelação extracelular) (Snyder e De Melo-Abreu, 2005). A localização do gelo, intracelular ou extracelular, dependerá das condições de arrefecimento (Guy, 1990; Rihan *et al.*, 2017).

O congelamento intracelular ocorre perante o arrefecimento muito rápido de tecidos (na ordem dos 8°C/min) (Siminovitch *et al.*, 1978), levando à formação de gelo no protoplasma de células. As plantas sensíveis às geadas apresentam membranas pouco permeáveis, o que não permite a saída de água a um ritmo que impeça a congelação intracelular (De Melo-Abreu, 2018). Considera-se que a formação de gelo intracelular cause a “rotura mecânica da estrutura protoplasmática” (Levitt, 1980; De Melo-Abreu, 2018).

Em condições naturais, na generalidade dos casos, as taxas de arrefecimento, durante uma noite de geada, são muito inferiores e a presença de solutos dissolvidos nas soluções aquosas do protoplasma impede que estas congelem. Contudo, devido a uma tensão osmótica inferior nas soluções extracelulares, é nestas que o gelo se forma e cresce.

Comumente, a geladura tem sido explicada através de três grandes grupos de mecanismos:

- Devido ao maior grau de hidratação, forma-se uma grande quantidade de gelo extracelular, levando à morte direta dos tecidos ou plantas (Burke *et al.*, 1976; Weiser, 1982);
- Associado à formação de gelo, ocorre a dessecação das células, inviabilizando-as;
- Relacionado com a diminuição da temperatura e as mudanças de fase da água, existem moléculas orgânicas e organelos celulares que sofrem mudanças letais para as células.

### 2.4.2. Variação da resistência das plantas às geadas

Durante o ciclo anual de crescimento vegetativo e o período de dormência, as épocas de transição no outono e na primavera são as que apresentam maior risco de geada para as plantas, visto que estas se encontram mais vulneráveis (menor resistência) e há uma moderada probabilidade de geada (Charrier *et al.*, 2015).

Define-se a resistência das plantas à geada (i.e., geado-resistência) como um termo ambíguo, visto que diferentes tecidos de uma mesma planta apresentam resistências distintas. Contudo, os tecidos mais sensíveis são os órgãos reprodutivos, o que constitui um grande problema para a agricultura. Sabe-se que durante o período de dormências as culturas apresentam geado-resistências superiores, sendo que esta diminui com a entrada ao crescimento vegetativo e respetiva progressão fenológica.

O *endurecimento* ou *aclimação* ao frio constitui-se no desenvolvimento temporário de tolerância à congelação, induzida por fatores ambientais. O processo inverso denomina-se *desaclimação*, isto é perda de geado-resistência (De Melo-Abreu e Ribeiro, 2010). Consequentemente, a indução e a quebra de dormência ocorrem em simultâneo com a *aclimação* e *desaclimação*, respetivamente (Charrier *et al.*, 2011; Palonen e Lindén, 1999). Por outro lado, sabe-se que nem todos os tecidos apresentam a capacidade de aclimação.

Na Figura 8, são os expostos os mecanismos utilizados pelas plantas para resistirem a geadas pouco severas, segundo De Melo-Abreu e Ribeiro (2010).

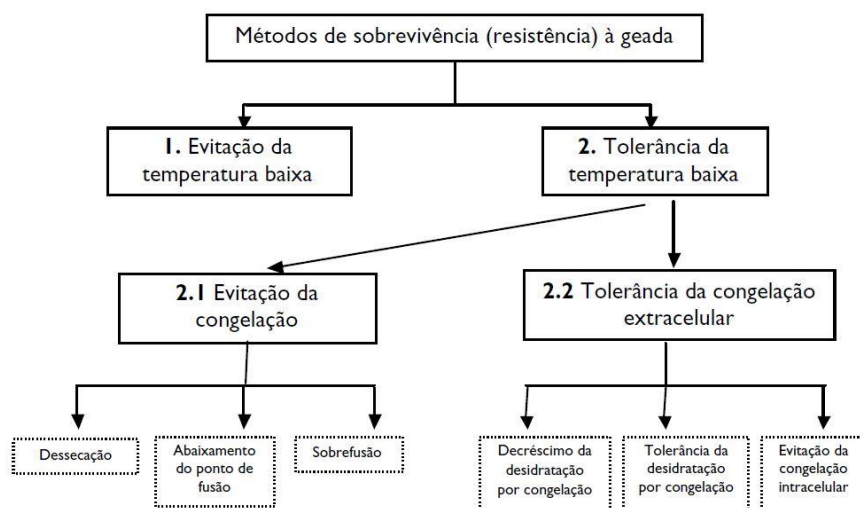


Figura 8 - Esquema relativo aos métodos de resistência das plantas à geada. Extraído de: De Melo-Abreu e Ribeiro (2010).

### 2.5. Definição das temperaturas críticas

A temperatura crítica define-se como a temperatura abaixo da qual a exposição de gomos, flores ou pequenos frutos, durante um intervalo igual ou superior a 30 minutos,

apresenta danos irreversíveis para estes órgãos. Esta é obtida em laboratório, dentro de câmaras de atmosfera controlada onde o movimento do ar é restrito. Atualmente, existem diferentes estudos com publicações de temperaturas críticas para um grande leque de culturas, no entanto, a utilização das mesmas, no intuito de realizar a gestão dos métodos de luta contra geadas, poderá ser sujeita a adaptações, visto que estas medições não tiverem em conta fatores que afetam as geadas, tais como: população de bactérias ativas de nucleação do gelo (*INA*), arquitetura da copa, etc. Por conseguinte, as temperaturas críticas devem ser utilizadas como linhas guia nos métodos de luta contra geadas, respeitando as suas margens de erro.

### **3. A importância da previsão e monitorização de geadas**

Na previsão e monitorização da temperatura nas noites de geada, com o fim de se utilizarem métodos ativos de luta, os termómetros devem ser colocados na altura mais baixa possível, onde, efetivamente, a proteção é desejada. No entanto, estes não podem ser colocados a uma altura que seja afetada por métodos de proteção, que ponham em causa a medição dos mesmos (por exemplo, a energia fornecida por aquecedores) (Perry, 1994). Snyder e De Melo-Abreu (2005), recomendam que a colocação dos termómetros seja feita permitindo a leitura mais próxima possível da temperatura da planta, sendo colocados a uma altura baixa em culturas densas e curtas, e a uma altura alta em culturas altas e esparsas.

Alguns problemas surgem no uso da temperatura do ar ( $T_a$ ), medida em abrigo meteorológico, como termo de comparação com a temperatura crítica ( $T_c$ ) para a planta. Por vezes, a temperatura da planta é distinta da temperatura do ar dependendo da radiação líquida, tendo em conta o balanço energético entre o solo e as folhas, e das condições de vento.

Na realidade, a temperatura de um órgão vegetal tende a ser inferior à temperatura medida em abrigo meteorológico, devido a perdas de energia sob a forma de radiação de grande comprimento de onda. Por esta razão, ocorre uma cedência de calor sensível por parte do ar para a superfície mais fria, passando através da camada limite. Se a resistência desta for grande, a temperatura dos tecidos vegetais mantém-se substancialmente mais fria do que o ar. Para ajudar nas decisões referentes aos métodos de proteção é necessário estimar a relação entre a temperatura sensível dos tecidos vegetais e a temperatura medida em abrigo meteorológico (Powell e Himelrick, 2000).

Embora as previsões das tendências de temperatura durante as noites de geada sejam importantes para identificar aproximadamente quando e se a proteção é necessária, um sistema de monitoramento da temperatura pode ser mais importante. Os fundamentos básicos deste tipo de sistemas incluem alarmes de geadas, sendo a sua função genérica acordar o

agricultor a tempo de iniciar o método de proteção antes que ocorram danos nas culturas, e uma rede de pontos de medição de temperatura ao longo de todo o terreno cultivado.

Conhecer a tendência da temperatura durante a noite ajuda os agricultores a saberem quando agir. A previsão de quando a temperatura atinge o valor crítico é importante para iniciar os métodos ativos de proteção contra geadas atempadamente. Por outro lado, saber o momento ideal para iniciar e terminar um método de luta, à temperatura adequada, permite ao agricultor poupar energia através da redução do tempo de operação dos diferentes métodos.

Baquet *et al.* (1976) e Katz *et al.* (1982) avaliaram a relação custo-benefício das previsões de geada, definindo o valor económico da previsão como o valor líquido adicional de produção resultante de ter a previsão.

### **3.1. Sistemas de apoio à tomada de decisão nas geadas**

A ciência continua a proporcionar inovação para o setor agrícola. A engenharia é, portanto, um parceiro fundamental para as ciências biológicas na melhoria de sistemas agrícolas e desenvolvimento da sustentabilidade, fornecendo o caminho a realizar para reunir as tecnologias necessárias no sentido de alcançar objetivos específicos (Day *et al.*, 2008).

A variabilidade associada ao tempo meteorológico expõe os seres humanos e os seus empreendimentos ao risco. A agricultura é um sector sensível ao clima e ao tempo, pelo que é importante entender os sistemas associados e os processos de tomada de decisão, criar modelos adaptados às necessidades dos agricultores e divulgá-los junto dos mesmos.

Os métodos de luta contra geadas existem, mas parecem subutilizados face às perdas desastrosas associadas a este fenómeno. Existem muitas razões para a baixa percentagem de utilização de métodos de proteção contra geada por parte dos agricultores, incluindo custos de implementação versus retorno e o tempo de gestão envolvido. Algumas culturas podem ser devastadas por uma única geada e levar anos a retomar os níveis de produção esperados. Por outro lado, as árvores de folha caduca podem ser completamente destruídas, embora muitas retornem aos níveis normais de produção no ano seguinte. Os produtores parecem relutantes em implementar medidas de proteção contra geadas, mesmo que seja demonstrado que a sua implementação reduz a perda de produção associada, obtendo-se ganhos económicos que pagariam a sua utilização (Heinemann *et al.*, 1992).

Os novos métodos de engenharia para recolher dados permitem o controlo de processos reais complexos. Transferir e integrar a informação sobre a metodologia e gestão de proteção contra geadas num programa informático ajudaria no processo de tomada de decisão e, assim, poderia reduzir o tempo de gestão gasto pelos produtores (Day *et al.*, 2008; Heinemann *et al.*, 1992).

A modelação fornece um procedimento lógico para prever os resultados de processos em circunstâncias diferentes daquelas que foram observados. A modelação de decisão visa determinar a melhor decisão, definir os *trade-offs* entre diversos resultados que são inerentes a uma série de decisões ou prever as prováveis decisões que devem ser tomadas pelos agricultores numa série de circunstâncias práticas. Tais modelos encapsulam o conhecimento de como o sistema é construído de interações entre processos e como cada processo funciona. O nível de conhecimento dos processos torna estes modelos muito precisos (Day *et al.*, 2008). Os sistemas inteligentes combinam o conhecimento experimental e experiencial com habilidades de raciocínio intuitivo de um conjunto de especialistas para ajudar os agricultores a tomar as melhores decisões para as suas culturas. A produção agrícola evoluiu para um negócio complexo que requer a acumulação e integração de conhecimento e informação de diversas fontes (Prasad e Vinaya, 2006).

De acordo com Breuer *et al.* (2008) e Mjelde *et al.* (1988), as previsões são úteis se permitirem ações do tipo “*ex-ante*”, tais como a alteração da escolha de espécies e cultivares e a mudança das datas de sementeira/plantação consoante a previsão realizada. Na formulação de modelos inteligentes, é necessário entender a forma como as pessoas tomam decisões para projetar métodos de convergência de informação sobre previsões climáticas (Breuer *et al.*, 2008; Stern e Easterling, 1999). Os resultados obtidos pelos modelos permitem uma melhor compreensão de como as decisões estratégicas, realizadas por agricultores, afetam o desempenho do sistema (Day *et al.*, 2008). A modelação dos processos e a sua otimização ajudam na tomada de decisão e na gestão das respetivas entradas associadas, sendo que no caso das geadas, favorecerá a poupança de água e energia nos respetivos métodos de controlo (Day *et al.*, 2008).

O desafio crítico da engenharia em relação aos modelos inteligentes de sistemas agrícolas é abordar os problemas práticos e reais e fornecer aos agricultores informações que melhorarão o desempenho dos seus sistemas (Day *et al.*, 2008). O valor económico relativo dos modelos, que representa uma medida de incentivo à produção, é difícil de determinar (Audsley *et al.*, 1997), no entanto, os agricultores têm demonstrado interesse em aprender mais sobre a variabilidade climática e sobre a informação climática relativa ao seu local para melhorar as suas decisões agrícolas (Breuer *et al.*, 2000; Hildebrand *et al.*, 1999).

A modelação para auxiliar a tomada de decisões em agricultura sustentável não requer descrição detalhada de todos os elementos, mas sim uma abordagem precisa adaptada para o propósito. A modelação preditiva dos resultados possíveis permite que uma pessoa tome uma melhor decisão. Os métodos para atingir este objetivo vão desde da formação, com o intuito de aumentar a compreensão por parte dos operadores das consequências das suas próprias ações, por meio de estudos e relatórios analíticos que fornecem ao realizador da decisão a medida das diferentes opções, até sistemas de apoio à tomada de decisão (DSS)

baseados em computador que usam os modelos interactivamente para sugerir as melhores decisões para o operador. As decisões de modelações para esses sistemas precisam de combinar uma abordagem probabilística da faixa de resultados possíveis com uma descrição determinista (Day *et al.*, 2008).

Por outro lado, documentar os efeitos da variabilidade climática e fornecer melhores previsões do clima para potenciais usuários não é suficiente para que os usuários beneficiem totalmente dessas informações. Devido às interações complexas entre fatores biofísicos, sociais e institucionais que afetam os sistemas agrícolas, os clientes precisam de auxiliares de decisão e assistência técnica para colmatar o fosso que ainda existe entre as previsões climáticas e as suas aplicações nas rotinas agrícolas (Breuer *et al.*, 2008; Podestá *et al.*, 1999).

Conclui-se, assim, que os sistemas de apoio à tomada de decisão (DSS) podem ajudar os produtores a entender melhor as possíveis respostas às previsões climáticas e devem compreender os riscos inerentes a cada alternativa, com a finalidade de tirar o melhor proveito de ter uma previsão climática (Letson *et al.*, 2001; Podestá *et al.*, 1999).

#### **4. Classificação dos métodos de luta contra geadas**

Devido aos prejuízos associados às geadas, é necessário aconselhar os agricultores sobre a melhor forma de minimizar estes danos. Segundo Snyder e De Melo-Abreu (2005) e De Melo-Abreu (2018), os métodos de luta contra geadas subdividem-se em indiretos (ou passivos), que atuam de forma preventiva, e diretos (ou ativos), que são de carácter protetivo e de atuação temporária. De seguida, evoca-se os métodos a abordar ao longo desta dissertação (Quadro 1).

Quadro 1 - Listagem dos métodos diretos e indiretos a abordar ao longo da dissertação.

<b>Métodos indiretos</b>	<b>Métodos diretos</b>
Seleção do local de cultura	Utilização de nevoeiros artificiais
Modificação da paisagem com o fim de atuar sobre o microclima (Gestão da drenagem de ar frio)	Aquecimento direto do ar com recurso a aquecedores
Manutenção da condutividade térmica do solo alta com recurso a rega	Mistura de ar, aumentando a temperatura das camadas superficiais à custa de ar quente suprajacente, utilizando ventiladores ou helicópteros
Seleção e melhoramento de cultivares	Utilização do calor sensível e do calor latente de fusão de água associados às mudanças de fase da água
Gestão das copas das árvores (utilização de culturas de sombra)	
Gestão da nutrição das plantas	
Alteração da condução e poda da cultura	
Cobertura de plantas	
Atuação sobre o solo, supressão de infestantes e “mulches”	
Atraso da cultura com recurso à rega	
Químicos para atrasar a floração	

O recurso a qualquer um destes métodos terá um impacto minimizador dos danos associados às geadas.

#### **4.1. Métodos Indiretos:**

##### **4.1.1. Seleção do local de cultura:**

A seleção do local de cultura é o método mais importante de proteção contra geadas. Os principais fatores a considerar são a drenagem de ar frio, inclinação e exposição do terreno e tipo de solo. Geralmente, os locais de elevação mais baixa apresentam temperaturas mais frias e, portanto, estão sujeitos a maiores danos potenciais. No entanto, locais distintos sem aparentes diferenças topográficas podem sofrer danos diferentes, devido a diferenças no tipo de solo, que afetam a condução e armazenamento de calor no solo, ou pela concentração de bactérias nucleadoras de gelo (INA).

Principais fatores que influenciam a seleção do local no caso de geadas de radiação:

- As temperaturas mínimas noturnas tendem a seguir os contornos topográficos, devido à drenagem do ar frio dar-se em direção aos pontos baixos,
- Grandes massas de água situadas a barlavento tendem a diminuir a frequência de geadas.



- Massas rochosas e plantas mais altas próximas podem aumentar a radiação descendente durante a noite e aumentar as temperaturas mínimas. No entanto, em alguns locais, podem impedir a passagem de massas de ar frio e favorecer a estratificação e acumulação de ar frio. Cada local é único.

- O tipo de solo afeta o armazenamento e a libertação de energia e, portanto, a temperatura noturna.

- Obstáculos topográficos e paisagísticos afetam a drenagem de ar frio.

O primeiro passo na implantação de uma nova cultura em determinada região é conversar com a população local sobre quais as culturas e variedades adaptadas à região e os locais a evitar. Estes, geralmente, têm uma boa noção de quais os locais que podem ser problemáticos devido às geadas.

#### 4.1.2. Modificação da paisagem com o fim de atuar sobre o microclima (controlo da drenagem de ar frio):

O ar frio é mais denso que o ar quente e, por essa razão, flui para zonas de baixa, acumulando-se como se água fosse. Portanto, deve evitar-se os pontos baixos por serem mais frios, a menos que os métodos de proteção ativa, com boa relação custo-benefício, estejam incluídos na estratégia de gestão a longo prazo. Por vezes, árvores, arbustos, montes de solo, pilhas de feno e cercas são utilizados para controlar o fluxo de ar em torno de áreas agrícolas e a colocação adequada pode modificar, de forma positiva, os danos potenciais das geadas (Figura 9). Para tal, antes da colocação de obstáculos e, também, com a finalidade de evitar os locais mais propícios a geadas, deve-se realizar um estudo detalhado dos mapas topográficos da região, de forma a elevar o grau de proteção conferido pelo método de luta contra geadas.

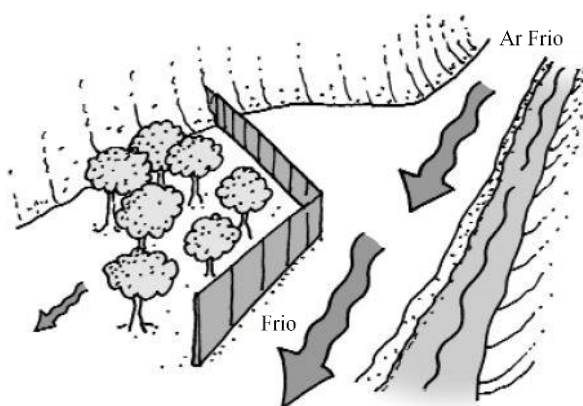


Figura 9 - Fluxo de drenagem de ar frio controlado por uma parede. Adaptado de: Snyder e De Melo-Abreu (2005).



Pontos fulcrais na gestão da paisagem:

- Obstáculos que impeçam a normal drenagem de ar frio segundo o declive de uma cultura, devem ser removidos.
- O nivelamento de terra pode melhorar a drenagem de ar e eliminar os pontos baixos que acumulam ar frio.
- As linhas de pomares e vinhas devem ser orientadas de forma a favorecer a correta drenagem de ar frio. No entanto, é necessário confrontar as desvantagens desta metodologia, visto que favorece a erosão do solo.
- Reduzir a mobilização em terrenos a montante na drenagem de ar frio, pois podem favorecer a acumulação de ar frio e drená-lo para as culturas de interesse.

#### **4.1.3. Manutenção da condutividade térmica alta com recurso à rega:**

O tipo de solo afeta sempre a temperatura mínima. Geralmente, os solos com maior condutividade térmica e capacidade térmica têm menor variação de temperatura na superfície. A capacidade de condução e armazenamento de calor por parte de um solo depende da sua densidade aparente, capacidade térmica, e difusividade térmica. Solos escuros e húmidos absorvem mais luz solar. Solos argilosos, com teor de água igual a solos arenosos, têm menor difusividade térmica. A difusividade térmica de solo orgânico (turfa) é muito mais baixa, independentemente do teor de água no solo e, por isso, é o solo a evitar em locais geladiços. Por outro lado, a difusividade térmica e a capacidade térmica aumentam nos solos minerais, fundamentalmente, com o aumento do teor de humidade do solo. Note-se, contudo, que o valor máximo da difusividade térmica atinge-se bastante antes de o solo estar saturado. Sabe-se, assim, que a melhor forma de proteger as culturas em períodos de geadas é manter os solos húmidos, não encharcados, com a finalidade de aumentar a difusividade e o armazenamento de calor.

#### **4.1.4. Seleção e melhoramento de cultivares:**

Existem grandes diferenças na sensibilidade aos danos causados pela geada entre variedades distintas. Os agricultores locais, muitas vezes, têm informações sobre quais as variedades mais ou menos propensas a danos causados pela geada. Da mesma forma, alguns porta-enxertos afetam a geada-tolerância das árvores. Por outro lado, a melhor alternativa é selecionar variedades ou porta-enxertos que tenham um desenvolvimento fenológico tardio, de forma a evitar as geadas primaveris.

#### **4.1.5. Gestão das copas das árvores:**

As temperaturas medidas, durante a noite, debaixo de árvores são superiores em relação aos locais a céu aberto, isto deve-se à radiação de longo comprimento de onda de

sentido descendente ser superior nas situações onde existem copas de árvores, visto que as temperaturas das copas são mais elevadas do que as temperaturas efetivas a céu aberto. Por isso, alguns produtores realizam consociações com plantas mais altas que sejam rentáveis, ou seja, para além de realizarem a proteção contra geadas, estas permitem a comercialização de mais um produto, maximizando as receitas provenientes do investimento do produtor.

#### **4.1.6. Gestão da nutrição de plantas:**

A fertilização é conhecida por afetar a sensibilidade à geada. Em geral, árvores débeis são mais suscetíveis a danos e a fertilização melhora a saúde das plantas. Árvores que não são adequadamente fertilizadas tendem a perder as suas folhas no início do outono, florescer no início da primavera e a ter maior suscetibilidade aos danos causados pela geada. A resistência aumenta quando as plantas acumulam os produtos da fotossíntese nos seus tecidos (Proebsting, 1978). Consequentemente, plantas bem nutridas e em bom estado sanitário favorecem a aclimatização e a resistência à geada. Contudo, sabe-se que o nitrogénio em excesso aumenta a suscetibilidade a danos por geada (Alden e Hermann, 1971; Bagdonas *et al.*, 1978).

#### **4.1.7. Alteração da condução e poda da cultura:**

A poda acelera o crescimento vegetativo próximo dos cortes, por essa razão a poda tardia é recomendada para árvores de folha caduca e videiras, de forma a evitar os períodos de geada (Savage *et al.*, 1976). Segundo Powell e Himelrick (2000), deve-se podar as ramificações inferiores primeiro e, posteriormente, podar os ramos mais altos após a diminuição do risco de geada (poda a dois tempos). Visto que na geada de radiação, a mais frequente, os danos ocorrem de baixo para cima nos pomares de folha caduca. E, assim, se os gomos ativos pela poda precoce forem danificados, ainda poderá obter-se produção pela madeira deixada caso tenha-se realizado poda a dois tempos (Blanc *et al.*, 1963; Bouchet, 1965).

A densidade de copa e poda influenciam a sensibilidade à geada das árvores de folha caduca. Copas fechadas e de alta densidade aumentam, indiretamente, a sensibilidade ao dano por geada devido às reduções na fotossíntese e, portanto, diminuição do armazenamento de açúcar nas zonas baixas da copa, onde, geralmente, acumula-se mais frio.

A altura dos órgãos reprodutivos é também importante. Assim, uma condução que conduza a subir estes órgãos, reduz o risco de geladura.

#### **4.1.8. Proteção dos troncos com recurso a coberturas ou pinturas:**

As grandes flutuações de temperatura promovem o fendilhamento da casca das árvores. Em dias muito frios de inverno, mas com períodos de sol desobstruído, o bloqueio temporário

da radiação solar leva à diminuição súbita da temperatura da casca do tronco e ramos, promovendo as rachaduras longitudinais. Por norma, os danos são maiores no lado ensolarado da árvore. Uma forma de reduzir este problema é pintar os troncos das árvores com uma tinta à base de latex branco, com o intuito de refletir a radiação solar (Powell e Himelrick, 2000).

A diminuição da radiação incidente promove o atraso da *desaclimatação* e da floração, protegendo a cultura dos danos de geada.

As coberturas de troncos são feitas de materiais que contêm espaços de ar que resistem à transferência de calor, servindo de material isolante. Estas impedem a diminuição abrupta de temperatura do tronco e, como consequência, evitam a exposição a temperaturas que causam danos às culturas. Esta técnica, pode, contudo, potenciar problemas fitossanitários.

#### **4.1.9. Cobertura de plantas:**

As coberturas de plantas aumentam a radiação de longo comprimento de onda de sentido descendente durante a noite e reduzem as perdas de calor para o ar por convecção de calor (e advecção) (Peyer, 1965). Sob condições de geada de advecção, as coberturas de plástico bloqueiam, também, o vento e podem fornecer alguma proteção. Por vezes, surgem problemas com doenças devido à fraca ventilação.

#### **4.1.10. Atuação sobre o solo, supressão de infestantes e “mulches”:**

O solo tem muitos espaços preenchidos por ar e o ar é um mau condutor e tem um calor específico baixo. Consequentemente, solos mais secos ou mais porosos, nomeadamente devido à mobilização recente, tenderão a conduzir e armazenar menos calor. O cultivo tende a criar estes mesmos espaços, tornando os solos mais frios. Por essa razão, solos cultivados devem sofrer a ação de rolos e serem regados posteriormente, a transferência de calor e armazenamento irá melhorar, devido à diminuição do tamanho dos poros do solo e ao aumento da capacidade térmica (Bridley *et al.*, 1965; Smith, 1975)

Por outro lado, a presença de infestantes no seio de um pomar promove a interceção da luz solar e a evaporação durante o dia. Como resultado, a quantidade de energia armazenada no solo durante o dia é reduzida pelas infestantes e, portanto, há menos energia disponível para transferência de calor do solo para a superfície vegetal durante as noites de geada. Por esta razão, a presença de infestantes apenas poderá ser útil caso o sistema de aspersão debaixo das copas seja utilizado, visto que a superfície de congelamento será superior.

#### **4.1.11. Atraso do desenvolvimento fenológico com recurso à rega:**

A indução de frio para atrasar a floração é considerada uma medida de proteção contra geadas (Anderson *et al.*, 1973). Os aspersores refrescam a cultura através da evaporação das gotículas de água dispostas sobre a cultura. Esta evaporação converte calor sensível em calor latente, consumindo energia e diminuindo, assim, a temperatura, moderando a progressão fenológica. A probabilidade de atingir-se temperaturas negativas na primavera diminui drasticamente durante um curto período de tempo, o que permite à indução de frio para atrasar a floração diminuir a probabilidade de danos por geadas quando o abrolhamento e floração são retardados.

#### **4.1.12. Químicos para atrasar a floração:**

O regulador de crescimento "*Ethephon*" aumenta a geado-resistência e atrasa a floração de culturas em 4 a 7 dias, caso seja aplicado na fase inicial do outono ou no início do frio. Por outro lado, o ácido giberélico retarda a floração de algumas culturas, contudo várias aplicações de elevado custo são necessárias. As aplicações de giberelina ou ácido alfa-naftalenoacético durante os dias quentes no final do inverno e primavera são conhecidos por atrasarem a saída das folhas (Nigond, 1960; Schultz e Weaver, 1977).

A utilização de reguladores de crescimento para reduzir a atividade cambial e prolongar o período de dormência ajuda as árvores de folha persistente e caduca a tolerar as temperaturas negativas. Geralmente, aceita-se que o atraso do crescimento reduz o alongamento celular. E as células de menores dimensões têm maiores concentrações de solutos, o que ajuda a evitar o congelamento.

### **4.2. Métodos Diretos:**

#### **4.2.1. Utilização de nevoeiros artificiais:**

As gotículas de água presentes no nevoeiro absorvem a radiação de longo comprimento de onda e reemitem a mesma para a superfície, tornando a temperatura da superfície consideravelmente maior do que a temperatura da superfície a céu aberto. Para obter-se sucesso com este método, é necessária uma nuvem bastante densa e espessa de nevoeiro que cubra por completo a cultura de interesse, não esquecendo que para isto acontecer o vento deve ser nulo e humidade relativa elevada.

Em termos energéticos, este método é o mais económico e apresenta custos de instalação altos e custo de operação reduzidos. Contudo, a sua utilização deverá ter em conta a proximidade de estradas, visto que a sua utilização reduz a visibilidade dos automobilistas.

#### **4.2.2. Aquecimento direto do ar com recurso a aquecedores:**

Uma das formas de repor a energia perdida pelas culturas, em situação de geada, é a queima de combustível (sólido, líquido ou gás) com recurso a aquecedores. Parte da radiação libertada pelos aquecedores é diretamente intercetada pelas plantas, o que eleva a temperatura das mesmas; outra parte, aquece o ar circundante por convecção. As condições meteorológicas que favorecem a eficiência deste método são noites calmas, de pouco vento e a presença de uma forte inversão térmica.

Contudo, este método apresenta um custo de operação elevado devido à sua fraca eficiência. Por norma, os aquecedores são utilizados em conjunto com outros métodos, tais como, ventiladores. Para o correto desempenho deste sistema é necessário fazer a correta gestão do local e disposição dos diversos aquecedores, privilegiando a uniformidade de distribuição e protegendo as zonas baixas e viradas contra o vento, nunca esquecendo de avaliar o custo-benefício do mesmo.

#### **4.2.3. Mistura de ar, aumentando a temperatura das camadas superficiais à custa de ar quente suprajacente, utilizando ventiladores ou helicópteros:**

Os ventiladores conferem proteção às culturas aumentando a densidade de fluxo de calor sensível descendente e quebrando as camadas limites de microescala sobre as superfícies vegetais. As hélices redistribuem o calor sensível que se encontra presente no ar, misturando o ar quente suprajacente com ar mais frio próximo da superfície (Figura 10). Por vezes, ajudam a remover o ar mais frio juntos das folhas e a substituí-lo por ar ambiente ligeiramente mais quente. A proteção conferida por este método diminui com o aumento da distância aos ventiladores e depende principalmente da força da inversão térmica, nos casos de inexistência de inversão térmica este método não resulta. Por outro lado, uma forma de aumentar a eficiência do mesmo é fazer coincidir a direção de operação das diferentes torres disponíveis, aumentando a eficiência de mistura.

Em termos ambientais, este método ativo é um dos menos problemáticos, no entanto, é necessário ter em conta a proximidade de centros urbanos, devido ao barulho causado.

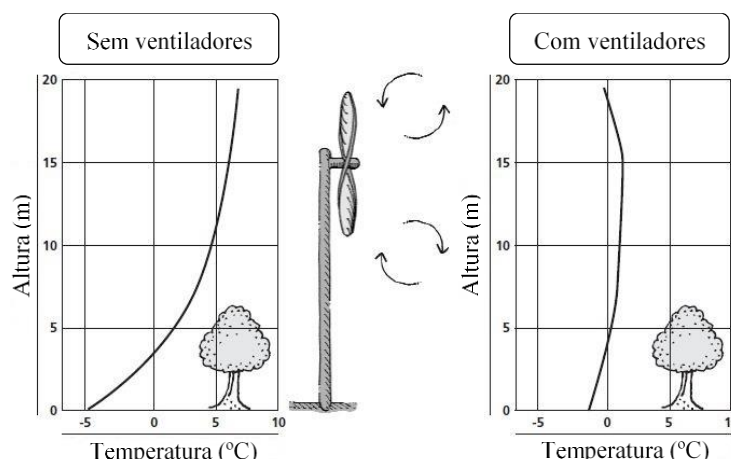


Figura 10 - Efeito dos ventiladores sobre a temperatura das camadas suprajacentes à cultura. Adaptado de: Snyder e De Melo-Abreu (2005).

Os helicópteros surgem como uma das opções oferecidas pelos ventiladores para áreas de grandes dimensões, visto que apenas um helicóptero pode cobrir entre 22 a 44 ha. A metodologia de funcionamento é similar à dos ventiladores estáticos.

#### 4.2.4. Utilização do calor sensível e do calor latente associados às mudanças de fase da água

A temperatura da água reflete o conteúdo de calor sensível da água. O calor libertado pela mesma para o ar e plantas à medida que a sua temperatura diminui, confere alguma proteção às culturas. No entanto, a maior parte do calor sensível recebido pelas plantas resulta da libertação do calor latente de fusão.

Perante noites ventosas, maior evaporação ocorre, maior calor latente é perdido das superfícies das plantas e, por isso, maior quantidade de água deve ser congelada para repor a energia dissipada. Contudo, em situações de vento, taxas de aplicação insuficientes podem causar maiores danos do que a não utilização do método.

O segredo para o sucesso dos métodos de aspersão é a aplicação de água de forma frequente a uma taxa que impeça a cultura de atingir temperaturas críticas. A aspersão, como método de proteção, engloba desde dos aspersores convencionais até aos de baixa dotação, podendo ser utilizada caso a cultura consiga suportar o peso do gelo. No caso da aspersão de jato raso ou microaspersores, as bases de funcionamento alteram-se, passando a ter como objetivo principal a manutenção da temperatura da superfície do solo próxima dos 0°C.

A aspersão sobre estufas confere uma proteção razoável às culturas. Atua com o fim de manter a temperatura das coberturas próxima de 0°C. Assim, a radiação emitida pela mesma para as espécies vegetais será superior à radiação a céu aberto.

Relativamente ao aquecimento da água para os métodos anteriormente citados, apenas são utilizados para zonas de geadas muito severas, devido aos custos associados.

No que toca à rega por alagamento e por sulcos, a metodologia de proteção é distinta, mas os fundamentos são semelhantes.

## 5. Materiais e métodos:

### 5.1. Objetivo geral

A dissertação tem como principal objetivo a criação de um sistema de apoio à tomada de decisão, capaz de suprimir quaisquer dúvidas que os agricultores, no geral, possam ter, relativamente ao método de luta contra geadas a utilizar.

### 5.2. Compilação dos atributos necessários e suficientes para seleção dos métodos aplicáveis

Para o correto funcionamento da aplicação, é fundamental uma descrição pormenorizada do local de análise. O programa assume dados climáticos da região, informação topográfica do local (topografia, declive, distância ao fundo do vale, exposição solar, zonas de formação de ar frio, caracterização do solo, paisagem), características da cultura (tipo de cultura, área, tipo de condução, compasso, cobertura do solo, orientação das linhas de árvores, gestão da entrelinha, temperatura crítica da cultura), disponibilidade de água e as respetivas opções de gestão do utilizador (nível de danos/prejuízos tolerado, nível de investimento suportável para medidas de prevenção, preferência por métodos de maior investimento inicial ou de maior custos variáveis, etc.). Todos os atributos citados anteriormente são imprescindíveis à definição dos métodos aplicáveis.

No caso de algum destes parâmetros ter carência de informação pertinente, a escolha final do programa tornar-se-á não válida.

### 5.3. Opção de codificação: Excel e o VBA

O *Visual Basics* é a linguagem de programação desenvolvida pela Microsoft Corporation®, assente na linguagem de programação *Basic (Beginner's All-purpose Symbolic Instruction Code)*, como o seu próprio nome indica, de fácil aprendizagem. O VBA surge como a linguagem presente nas aplicações do pacote Microsoft Office, que engloba os programas Word, Excel, PowerPoint, entre outros (Walkenbach, 2013).

A conveniência de utilização do VBA surge quando a necessidade de utilização de uma determinada aplicação estende-se sobre uma grande extensão de dados ou sobre processos complexos replicativos. Assim, o VBA permite ao utilizador a criação de instruções para serem lidas de forma rápida e eficaz por parte da aplicação, evitando o processo manual de leitura e análise “um a um” de todos os dados em causa. Com recurso ao VBA, o utilizador digita o código replicativo a ser lido pelo programa e cria a respetiva *MACRO*, que consiste num grupo de instruções programadas em VBA, que após execução automatiza ações e/ou cálculos. Os processos envolvidos podem ser replicados sempre que a *MACRO* criada for executada.



O Excel é a ferramenta mais utilizada para armazenar, manipular e analisar dados. Este permite-nos analisar dados científicos, realizar orçamentos e previsões, criar formulários e faturas, desenvolver gráficos a partir de dados, elaborar listas de itens como notas de alunos, etc. A acoplação deste com o VBA permite-nos criar programas de grande utilidade como os DSSs.

Segundo Walkenbach (2013), o uso em simultâneo do Excel e VBA tem vantagens na automatização de tarefas, sendo importante salientar as seguintes:

- O Excel executa sempre a tarefa da mesma forma ( $\approx$  consistência);
- O Excel executa mais rapidamente a tarefa do que o utilizador manualmente;
- O Excel executa a tarefa sem erros, isto é, se a MACRO estiver corretamente desenhada;
- A MACRO é executável por outra pessoa qualquer.

Contudo, é importante salientar as lacunas desta utilização conjunta (Walkenbach, 2013):

- Para a correta articulação do VBA com o Excel, é imprescindível saber formular programas;
- Para a correta utilização dos programas formulados em VBA é necessário utilizar o Excel;
- Por vezes, ocorrem erros inesperados;
- O Excel ao sofrer atualizações pode inviabilizar a utilização do programa formalizado em VBA<sup>1</sup>.

### **5.3.1. Justificação das ferramentas utilizadas**

A escolha destas duas ferramentas copulativas de trabalho deveu-se, sobretudo, à simplicidade de utilização e à facilidade e rapidez de aprendizagem da linguagem em causa. A combinação Excel e VBA permite criar uma interface básica e intuitiva para qualquer tipo de utilizador.

## **5.4. Metodologia de base aplicada na formulação do programa**

Os processos biofísicos inerentes ao fenómeno de geada são complexos. Por essa razão, os modelos que recriam a sua formação são, também, de grande complexidade. Acresce, que estes modelos são muito exigentes em parâmetros de entrada, que são, geralmente, desconhecidos. Na base do desenvolvimento da aplicação para a aferir a

---

<sup>1</sup> Embora, em geral, haja da parte da Microsoft a preocupação de manter a compatibilidade com versões anteriores, o que quase sempre se verifica.

viabilidade técnica de métodos de luta contra geadas, primeiramente, definiu-se os fatores chave que determinam a formação de geadas (tais como: tipo de planta, temperatura crítica associada à cultura, condições meteorológicas verificadas (humidade relativa, vento, temperatura mínima), método aconselhável para o tipo de planta).

O programa em si consiste num sistema de apoio à tomada de decisão, o que significa que a decisão final é sempre tomada pelo utilizador e não pelo programa. Na figura 11, encontra-se a metodologia aplicada na formulação do mesmo.

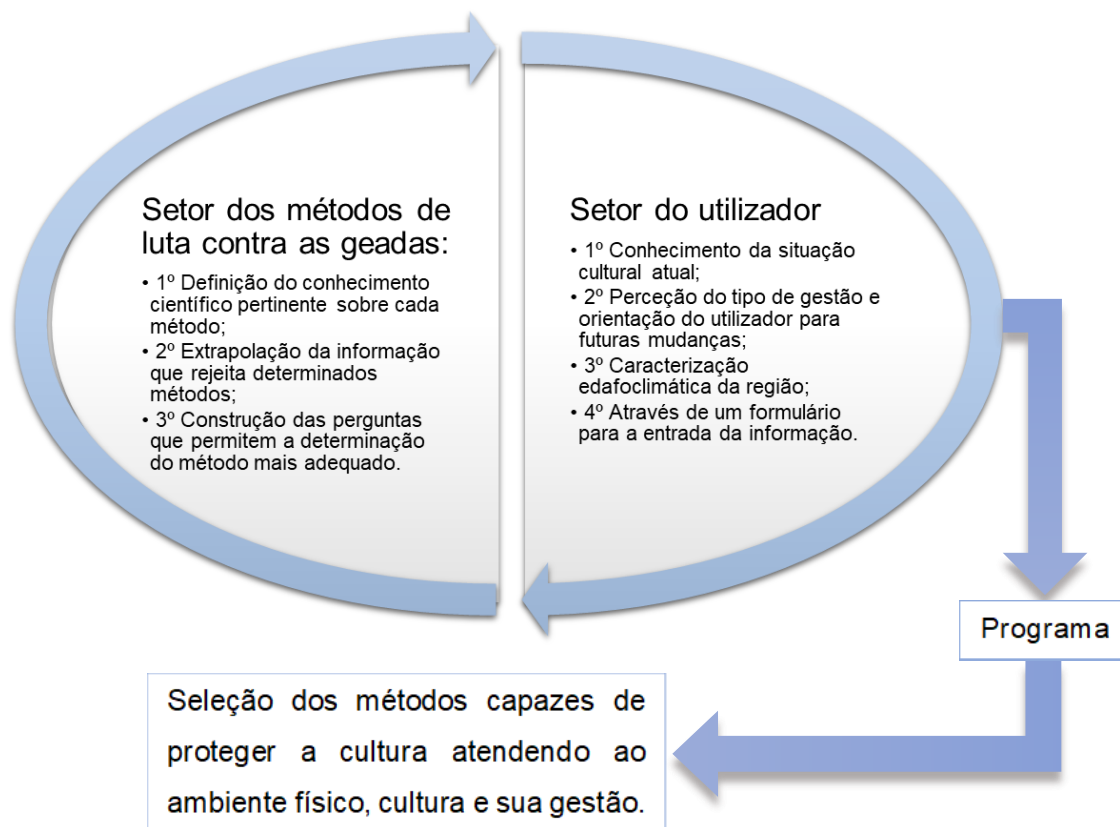


Figura 11 - Esquema descritivo do processo base utilizado na concepção da aplicação.

Primordialmente, identificaram-se as áreas críticas de análise que o programa iria ter de avaliar, isto é, os dois temas principais que iriam influenciar por completo as escolhas finais do programa. Definiu-se, assim, como macrovariáveis o setor dos métodos de controlo de geadas e o setor do utilizador. De seguida, extrapolou-se os dados científicos relativos aos métodos de controlo de geadas, consolidando as perguntas imprescindíveis a realizar ao utilizador, com o intuito de seleção do método mais favorável. Posteriormente, definiram-se os dados essenciais à caracterização da situação do utilizador, da sua forma de atuação e da sua ótica de gestão. Por último, arquitetou-se um sistema de interação replicativa entre as respostas do utilizador e os recursos necessários ao funcionamento do sistema de luta, de

forma a comprovar se todos os dados necessários ao funcionamento do sistema estão contemplados.

#### **5.4.1. Conceção do código e funcionamento do programa**

De modo a que as condições reais sejam simuladas pelo programa, o utilizador insere de forma criteriosa os dados necessários ao funcionamento do mesmo, fazendo coincidir os valores introduzidos com os valores médios reais verificados. A introdução dos dados por parte do utilizador é feita através da resposta a um formulário. Este é composto por um conjunto de perguntas extraídas do conhecimento científico de cada método, conforme foi dito na secção anterior, presentes nos Quadros 4 e 5 dos anexos. Em simultâneo, o programa tem na sua base informação detalhadas sobre os diferentes métodos de luta contra geadas (Quadro 6 dos anexos), tais como, o ganho energético relativo a cada um deles, e em paralelo, este sabe quais são as respostas a determinadas perguntas que excluem de forma direta os métodos (Quadro 7 dos anexos).

O programa funciona segundo ciclos de informação, analisa as respostas dadas pelo utilizador aos dados requeridos pelo próprio programa e apresenta possíveis opções para as condições descritas de forma sucessiva, até chegar a um conjunto de métodos que seriam viáveis. Este tem como principal objetivo, a obtenção do menor prejuízo possível para cultura, podendo prosseguir-se com os processos até encontrar-se a solução mais vantajosa. No entanto, é importante referir que para determinadas circunstâncias poderá não existir método compatível. A lógica do programa garante-se respeitando as normas de utilização evocadas pelo mesmo.

A informação pertinente foi convertida em linguagem VBA e criou-se uma aplicação em Excel. Ao longo da dissertação, não será partilhado o código criado, com a finalidade de salvaguardar os direitos de autor do mesmo. Contudo, é de salientar que todo o código escrito assenta em condições lógicas do tipo “If ... Then ... Else”, “Select Case” e a aceitação final dos métodos é conseguida através de cálculos executados pelo programa. Os processos executados pelo programa serão expostos na próxima secção.

### **5.5. Exposição analítica dos processos executados pelo programa**

O mapeamento prévio dos processos intervenientes na execução de um programa torna-se fulcral devido à complexidade de interações possíveis entre variáveis. Antes de iniciar a programação da aplicação propriamente dita, dimensionou-se a forma de percorrer e analisar informação e os possíveis caminhos a serem tomados pelo mesmo, com recurso a fluxogramas de interação. O número e as interações entre variáveis é de tal modo complexo, que os fluxogramas foram pensados método a método.

Na Figura 12, encontra-se exposto um dos fluxogramas de interação criados durante o planeamento do programa. Este refere-se apenas sobre o método 19, conforme é indicado no Quadro 3 dos anexos, sobre o método de utilização de aspersores sobre coberturas (nota: os fluxogramas de interação apresentam a dominação do método segundo código, sendo necessário consultar o Quadro 3 dos anexos para a inteira compreensão dos mesmos). Na criação dos fluxogramas, presentes na Figuras 12 e nas Figuras 30 a 39 dos anexos, preocupou-se em expor o fio condutor do modo de atuar do programa da forma mais simples. As operações executadas pelo mesmo, baseiam-se, principalmente, em resposta do tipo “sim e não” às perguntas selecionadas para cada método. Cada resposta dada apresenta caminhos diferentes a percorrer pelo programa, podendo inviabilizar o método em causa ou não. Cada utilizador reúne as suas próprias condições, e por essa razão cada situação apresenta o seu rumo característico.

Por fim, se no final do trajeto o método não for inviabilizado, o programa em si realiza os cálculos presentes na Figura 13, com o intuito de realizar a aceitação final. Caso o ganho energético associado ao método não tenha a capacidade de superar o défice energético entre a temperatura crítica da cultura e a temperatura mínima verificada na região, o método é refutado pelo programa. Todos os métodos evidenciam o seu próprio fluxograma de interação de processos, sendo que todos os fluxogramas se encontram expostos nos anexos da dissertação. Contudo, o processo de aprovação final é realizado de forma genérica para todos os métodos, como consta na Figura 13. Segundo o Quadro 6 dos anexos, existem métodos que o seu ganho energético é variável, o que significa que o processo de validação final não é realizado segundo a Figura 13. Nestes casos, toma-se como ponto de partida que a alteração a realizar suplanta o défice energético existente, isto é, por exemplo, no método de seleção do local, a definição do novo lugar de cultivo terá como parâmetro eliminatório a inexistência de geadas.

Conclui-se, assim, que nem todas as perguntas interagem na seleção dos métodos, no entanto, são fundamentais na contextualização das circunstâncias a avaliar, potencializando a certeza das escolhas do programa.

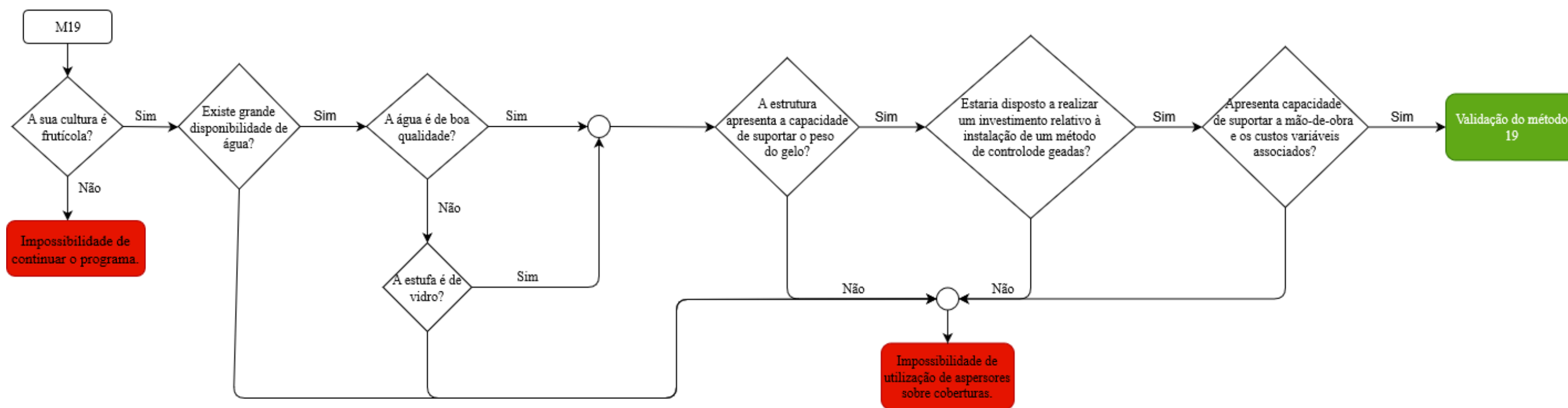


Figura 12 - Fluxograma explicativo dos caminhos possíveis que o programa pode tomar, consoante as respostas do utilizador, no caso do método 19.

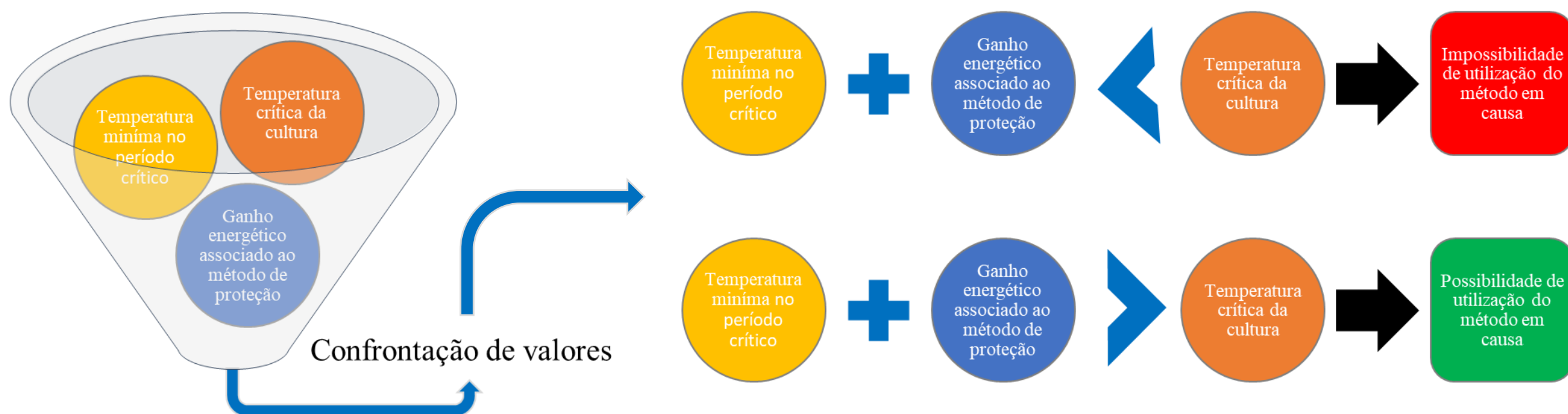


Figura 13 - Esquema exemplificativo do processo de aceitação que o programa executa após a validação de qualquer um dos métodos.

### 5.5.1. Aditivos fundamentais ao correto desempenho do programa

A normalização das ações do utilizador durante a utilização de determinada aplicação é crucial para proteger possíveis erros do programa. Os procedimentos realizados pelo utilizador não esperados pelo programa, originam falhas no desempenho do mesmo. No sentido de impedir estes acontecimentos, a ação do utilizador foi limitada à introdução de informação imprescindível ao funcionamento do programa.

Inicialmente, estipulou-se que apenas seriam editáveis as células correspondentes às respostas das perguntas. Posteriormente, chegou-se à conclusão de que esta limitação era insuficiente e que a liberdade de ação que o utilizador continuava a possuir, punha em causa a viabilidade do que se estava a construir. Por isso, no caso das perguntas de introdução de dígitos, cingiu-se as respostas a intervalo de valores coerentes. No cenário de questões mais complexas, as respostas foram limitadas a uma lista de frases predefinidas.

Em última instância, caso o utilizador quebre as regras instauradas, o próprio programa indicará o que de errado foi introduzido através da exibição de um erro. Todos estes pontos minuciosos de controlo de ação do utilizador, desempenham um papel crucial na performance da aplicação. A arquitetura deste sistema de normalização permitiu, assim, manter a viabilidade do programa para todas as situações possíveis de controlo de geadas.

### 5.6. Formulação e exibição de resultados

A utilização do código criado é feita com recurso a um botão criado na interface do Excel (botão “Verificar métodos disponíveis” presente na Figura 15). Este botão executa a *MACRO* criada. A primeira fase de atuação da *MACRO* corresponde à leitura de dados. Durante a leitura dos dados, o programa seleciona e arquiva a informação pertinente, para posteriormente recorrer à mesma para tomar decisões. A informação é guardada segundo uma linguagem simplificada, com a finalidade de tornar a sua leitura mais fácil e rápida. À medida que o programa lê a informação, ele regista apenas os algarismos da questão e da respetiva resposta. Por exemplo, se estivermos na primeira pergunta e a resposta for a primeira opção da lista, ele memoriza apenas o seguinte código: “1.1”. O processo repete-se até a informação estar toda revista.

Na segunda parte da *MACRO* de análise dos dados recolhidos. Estes são expostos ao processo de seleção explicado na secção do funcionamento do programa. É averiguado se as condições descritas permitem a utilização de algum método de luta contra geadas. Assim, o programa regista quais os métodos disponíveis para o efeito.

Por fim, o programa tem instruções para criar uma nova folha de Excel, onde faz a listagem dos métodos válidos para as circunstâncias apresentadas.

A funcionalidade do programa apenas é garantida caso o conteúdo associado às *MACROs* esteja ativo.

## **5.7. Depuração do programa**

O ciclo de depuração é a metodologia mais utilizada para encontrar e corrigir erros em programas sequenciais. A depuração é uma operação intensiva de programação com um elevado grau de importância, visto que é uma das poucas ferramentas existentes que permitem analisar o estado do programa (Leblanc e Mellor-Crummey, 1987).

Esta metodologia utilizada surge como um ciclo, onde o programa é executado até exaltar-se algum erro. Após a ocorrência de um erro, o programador pressupõe um conjunto de causas subjacentes para o erro, introduz pontos de interrupção no código ou instruções de rastreamento que permitam recolher mais informação sobre o mesmo. O programa é reexecutado e o ciclo de depuração repete-se até o erro estar bem definido e corrigido. Todo este processo só é possível em programas sequenciais, porque estes, geralmente, são determinísticos, ou seja, para uma entrada fixa, cada execução de um programa sempre seguirá o mesmo caminho de execução e produzirá os mesmos resultados (Leblanc e Mellor-Crummey, 1987).

Segundo Hailpern e Santhanam (2002), o objetivo da depuração é localizar e consertar o código responsável por adulterar uma especificação conhecida. A depuração, por norma, realiza-se durante três atividades de desenvolvimento do software. Durante as fases de verificação, teste e validação.

A depuração, neste trabalho, foi executada ao longo de todo o desenvolvimento do código do programa. Esta operação foi concebida durante três fases: a fase de verificação do que estava escrito, com o intuito de eliminar possíveis erros de linguagem; a fase de teste, onde foi analisada a funcionalidade do código criado; e a fase de validação, na qual foi avaliado o desempenho de todo o programa. O código do programa foi escrito por partes e cada excerto sofreu o processo de depuração após a sua criação, realizando-se apenas as fases de verificação e teste. Por fim, após a conclusão de todo o código, realizou-se a validação do mesmo. O ciclo de depuração terminou quando todos os caminhos possíveis a serem executadas pelo programa não apresentaram quaisquer erros.

## **5.8. Ordenação dos métodos selecionados**

Uma vez avaliada toda a informação disponibilizada pelo utilizador, o programa reúne segundo uma lista os métodos válidos para combater as geadas nas condições caracterizadas. Assim, o utilizador, em alguns casos, terá mais que uma opção viável para proteger a sua cultura dos prejuízos avultados causados pelas geadas. Contudo, a decisão final e mais favorável para o utilizador não é tomada pelo programa. Sabemos, também, que a decisão final do utilizador irá basear-se no fator limitante, a componente económica associada à utilização do método.



O programa criado não avalia qualquer perspectiva financeira relacionada com os métodos. No entanto, existem ferramentas que permitem analisar este parâmetro. O FrostEcon de De Melo-Abreu, Snyder e Matulich, (2003), executa uma análise financeira dos métodos de controlo de geadas disponíveis nos dias de hoje. Este programa calcula os danos causados nas culturas sem qualquer tipo de proteção, com recurso a séries climáticas, estados fenológicos e temperaturas críticas da cultura alvo. De seguida, o programa reúne informação sobre o aumento da temperatura mínima associado à utilização de cada método e sobre os custos de instalação e operação do mesmo. Por fim, este avalia o custo-benefício referente aos prejuízos potenciais evitados devido à utilização de cada método.

Assim, recorrendo ao FrostEcon, é possível ordenar os métodos validados pelo programa segundo o custo-benefício da sua utilização e definir o método com maior retorno para o agricultor. Neste sentido, criou-se, na interface do programa, uma hiperligação que permite descarregar o FrostEcon para efetuar tais cálculos.



## **6. Resultados da criação do programa**

A criação de programas com função de auxílio à tomada de decisão, em situações reais, permitem minorar a fragilidade do conhecimento do utilizador relativamente ao que se pretende escolher. Com o intuito de potencializar o grau de certeza das escolhas dos agricultores, ao longo deste trabalho, construiu-se um programa capaz de reduzir o leque de métodos de controlo de geadas disponíveis em métodos viáveis para as circunstâncias caracterizadas.

O programa tem como propósito superar eventuais dúvidas existentes na escolha dos métodos de luta em termos de aplicação para as condições edafoclimáticas do local em análise. Sendo assim, este não apresenta qualquer vertente económica precisa no auxílio à tomada de decisão, apenas tem como informação base a ótica de gestão do utilizador e a sua orientação para futuras mudanças.

Para tal, a interface do programa criado caracteriza-se por ser intuitiva e básica, permitindo a qualquer tipo de utilizador a sua utilização. Esta será exposta na secção seguinte.

### **6.1. Exibição da interface do programa**

Na Figura 14 encontra-se a página inicial do programa. Esta folha “instruções” serve de apresentação ao programa, evocando os seus autores, a forma de atuação do programa, os avisos referentes à utilização do mesmo e a bibliografia referente aos métodos de luta contra geadas, consultada durante a criação do programa. A vermelho, na Figura 14, individualizou-se o botão criado para prosseguir com o programa. Todas as células referentes à página inicial encontram-se bloqueadas, sendo que o utilizador apenas pode clicar no botão “Seguinte”.

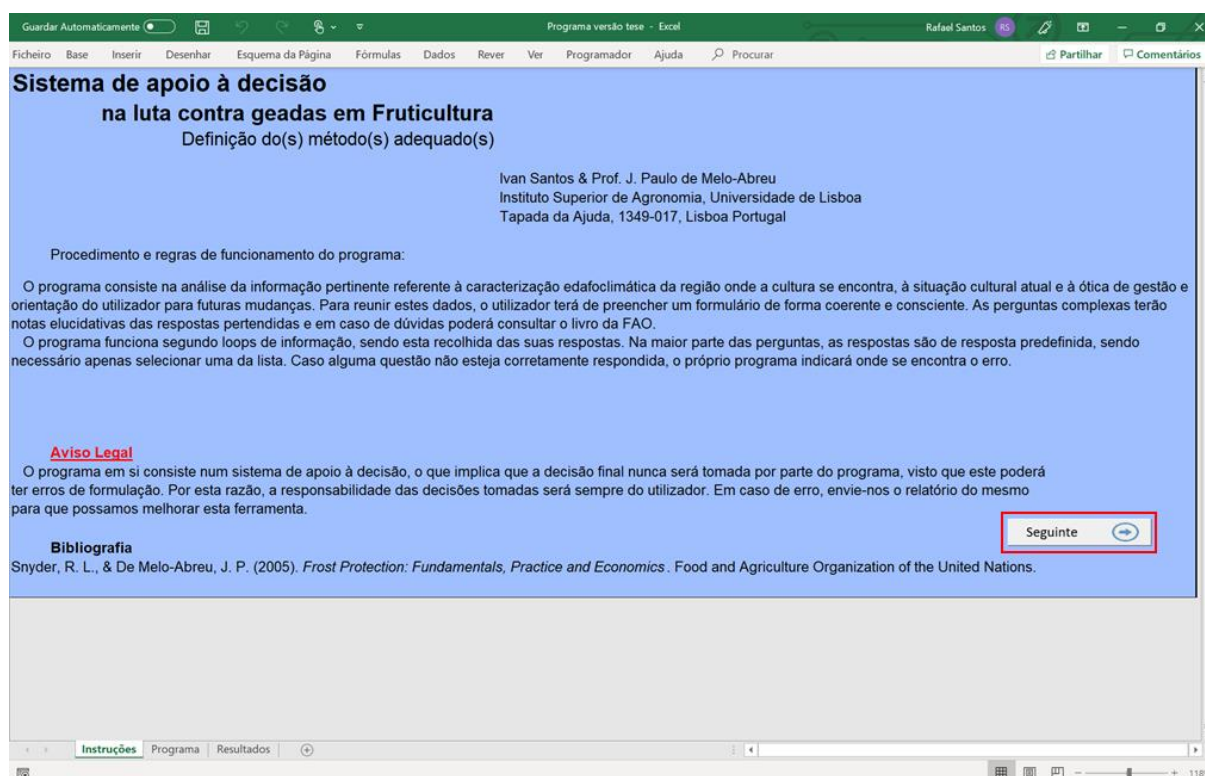


Figura 14 - Folha “Instruções” da interface do programa. O botão que permite prosseguir com o programa encontra-se realçado no canto inferior direito.

As Figura 15, 16 e 17 expõem a folha “Programa”, que representa o formulário a preencher pelo utilizador. O formulário divide-se em perguntas de resposta fechada e perguntas de resposta aberta, para a inserção de valores. As respostas fechadas disponíveis para cada pergunta são visíveis após o clique no ícone junto à célula da resposta correspondente, conforme a Figura 15. As respostas de inserção de dígitos apresentam a sua célula correspondente com fundo cinza. Apenas as células correspondentes às respostas a serem dadas pelo utilizador e os botões podem ser seleccionados pelo mesmo, todas as outras células encontram-se protegidas. A vermelho está destacado os botões de “Apagar respostas” e o botão de “Verificar os métodos disponíveis”.

Na Figura 17, encontram-se quatro hiperligações, caso o utilizador necessite de consultar bibliografia para responder de forma mais coerente às perguntas ou caso necessite de utilizar algum programa auxiliar para fundamentar melhor a sua resposta. Destes programas destacam-se o “Clima e o Solo” (De Melo-Abreu *et al.*, 2018), que permite ao utilizador calcular a temperatura mínima da região, o “FrostEcon”, que possibilita averiguar os custos associados a cada método de luta contra geadas, e o “Dest” (De Melo-Abreu e Snyder, 2003), que proporciona a estimativa do número médio de eventos com geada.

**Definição dos métodos de luta contra geadas utilizáveis:**

**Programado por Ivan Santos (reporte possíveis (mas improváveis) erros para o seu autor: ivan.rafa.16@gmail.com)**

Para utilizar esta ferramenta de forma correta deverá substituir os campos indicados (células brancas e cinzentas) com o que lhe é pedido. Posteriormente, deverá validar as respostas, carregando no botão "Verificar os métodos disponíveis". Em caso de dúvidas poderá consultar ajudas clicando nos botões Ctrl + Shift + A. Para posteriormente voltar ao programa pressione Ctrl + Shift + V.

Os resultados serão apresentados posteriormente.

---

**Formulário a preencher pelo utilizador:**

1 Qual é o tipo de cultura que necessita proteção?	[Selecione a resposta]
2 Relativamente ao ciclo de crescimento, a cultura de interesse é:	1 - Frutícola 2 - Hortícola [Selecione a resposta]
3 Quanto à altura dos órgãos sensíveis, estes estão:	[Selecione a resposta]
4 Esta apresenta a capacidade de suportar o peso do gelo formado derivado da utilização dos métodos de proteção?	[Selecione a resposta]
5 Especifique a orientação das linhas de árvores em relação às curvas de nível:	[Selecione a resposta]
6 Estaria disposto a utilizar outra cultivar com maior geado-resistência, caso exista?	[Selecione a resposta]
7 É tecnicamente viável alterar a nutrição azotada da cultura? (só para culturas permanentes)	[Selecione a resposta]
8 Está disposto a realizar as obras necessárias?	[Selecione a resposta]
9 Existe alguma consociação passível de realizar com a sua cultura? (só culturas permanentes)	[Selecione a resposta]
10 Gestão da entre-linha:	[Selecione a resposta]
11 A sua cultura está em estufa?	[Selecione a resposta]
12 Estaria disposto a alterar o modo de condução da sua cultura?	[Selecione a resposta]
13 Em relação às horas de frio, o local:	[Selecione a resposta]
14 Existem zonas de formação de ar frio acima desta cota e fora da zona para análise?	[Selecione a resposta]

Apagar respostas
 Verificar métodos disponíveis

Figura 15 - Folha “Programa” da interface do programa que expõe o formulário a preencher pelo utilizador (Parte 1) e a respetiva lista de respostas disponíveis para a pergunta 1. Os botões que permitem apagar as respostas dadas anteriormente ou verificar os métodos encontram-se realçados no canto superior direito.

Guardar Automaticamente 100% Rafael Santos RS

Ficheiro Base Inserir Desenhar Esquema da Página Fórmulas Dados Rever Ver Programador Ajuda Procurar Partilhar Comentários

14 <u>Existem zonas de formação de ar frio acima desta cota e fluxo de ar frio para a parcela?</u>	[Selecione a resposta]
15 <u>O seu terreno encontra-se num vale?</u>	[Selecione a resposta]
16 <u>Qual é o declive do terreno?</u>	[Selecione a resposta]
17 <u>O terreno apresenta uma exposição, voltado a:</u>	[Selecione a resposta]
18 <u>Relativamente à ondulação, o seu terreno tem um declive constante para barlavento:</u>	[Selecione a resposta]
19 <u>Tipo de solo:</u>	[Selecione a resposta]
20 <u>A espessura de solo é fina?</u>	[Selecione a resposta]
21 <u>Existe a possibilidade de colocar uma barreira para divergir o ar frio?</u>	[Selecione a resposta]
22 <u>Encontra-se alguma barreira a bloquear o fluxo de ar frio a jusante?</u>	[Selecione a resposta]
23 <u>O terreno encontra-se próximo de um centro urbano:</u>	[Selecione a resposta]
24 <u>Os seus vizinhos suportam possíveis barulhos causados pelos métodos de controlo de geadas?</u>	[Selecione a resposta]
25 <u>Disponibilidade em água:</u>	[Selecione a resposta]
26 <u>No caso das culturas em estufa, a estrutura aquece o peso do gelo?</u>	[Selecione a resposta]
27 <u>Nas noites de geada, em geral, o local apresenta velocidades de vento superiores a 8 Km/s?</u>	[Selecione a resposta]
28 <u>A localização da cultura é mais suscetível a que tipo de geadas?</u>	[Selecione a resposta]
29 <u>Definição da inversão térmica local:</u>	[Selecione a resposta]
30 <u>O utilizador está disponível a realizar o investimento</u>	

Instruções Programa Resultados

Figura 16 - Folha “Programa” da interface do programa que expõe o formulário a preencher pelo utilizador (Parte 2).

**Programa versão v5 - Guardado**

Rafael Santos RS

Ficheiro Base Inserir Desenhar Esquema da Página Fórmulas Dados Rever Ver Programador Ajuda Procurar Partilhar Comentários

26 <u>No caso das culturas em estufa, a estrutura aqueça o peso do gelo?</u>	[Selecione a resposta]		
27 <u>Nas noites de geada, em geral, o local apresenta velocidades de vento superiores a 8 Km/s?</u>	[Selecione a resposta]		
28 <u>A localização da cultura é mais suscetível a que tipo de geadas?</u>	[Selecione a resposta]		
29 <u>Definição da inversão térmica local:</u>	[Selecione a resposta]		
30 <u>O utilizador está disponível a realizar o investimento relativo a instalação de um método de controlo de geadas?</u>	[Selecione a resposta]		
31 <u>O utilizador tem capacidade para suportar a mão-de-obra e os custos variáveis associados (energia, água, etc)?</u>	[Selecione a resposta]		
32 <u>Estaria disposto a mudar o local da cultura?</u>	[Selecione a resposta]		
33 <u>Diga qual a área ocupada pela cultura (em ha):</u>	[Insira o valor]	[ha]	
34 <u>Mencione o compasso utilizado (metros na linha x metros na entre linhas):</u>	[Insira o valor]	[m] [Insira o valor] [m]	
35 <u>Indique a temperatura mínima verificada durante o período sensível da cultura (em °C):</u>	[Insira o valor]	[°C]	
36 <u>Indique a temperatura crítica da sua cultura (em °C):</u>	[Insira o valor]	[°C]	
37 <u>Estime o número médio de eventos de geadas durante os estados fenológicos sensíveis:</u>	[Insira o valor]		

Caso necessite de ajuda para responder a alguma pergunta, abra o livro da FAO.

[Clique aqui para abrir o livro da FAO](#)

Caso necessite de ajuda para responder à pergunta 35, pode recorrer ao programa Clima e Solo clicando na hiperligação.

[Clique aqui para abrir o Clima e o Solo](#)

Caso queira calcular os custos associados a cada método de proteção, poderá usar o programa FrostEcon clicando na hiperligação.

[Clique aqui para abrir o FrostEcon](#)

Caso necessite de ajuda para responder à pergunta 37, pode recorrer ao programa Dest da FAO clicando na hiperligação.

[Clique aqui para abrir o DEST](#)

Instruções Programa Resultados

Figura 17 - Folha “Programa” da interface do programa que expõe o formulário a preencher pelo utilizador (Parte 3) e as respetivas hiperligações de auxílio à realização do formulário.

Os resultados da execução do programa são apresentados de forma genérica como consta na Figura 18. Esta folha “Resultados” é totalmente bloqueada, sendo que o utilizador apenas pode visualizar a informação transmitida pela página. Nesta página, executa-se a listagem dos métodos viáveis para as condições descritas.

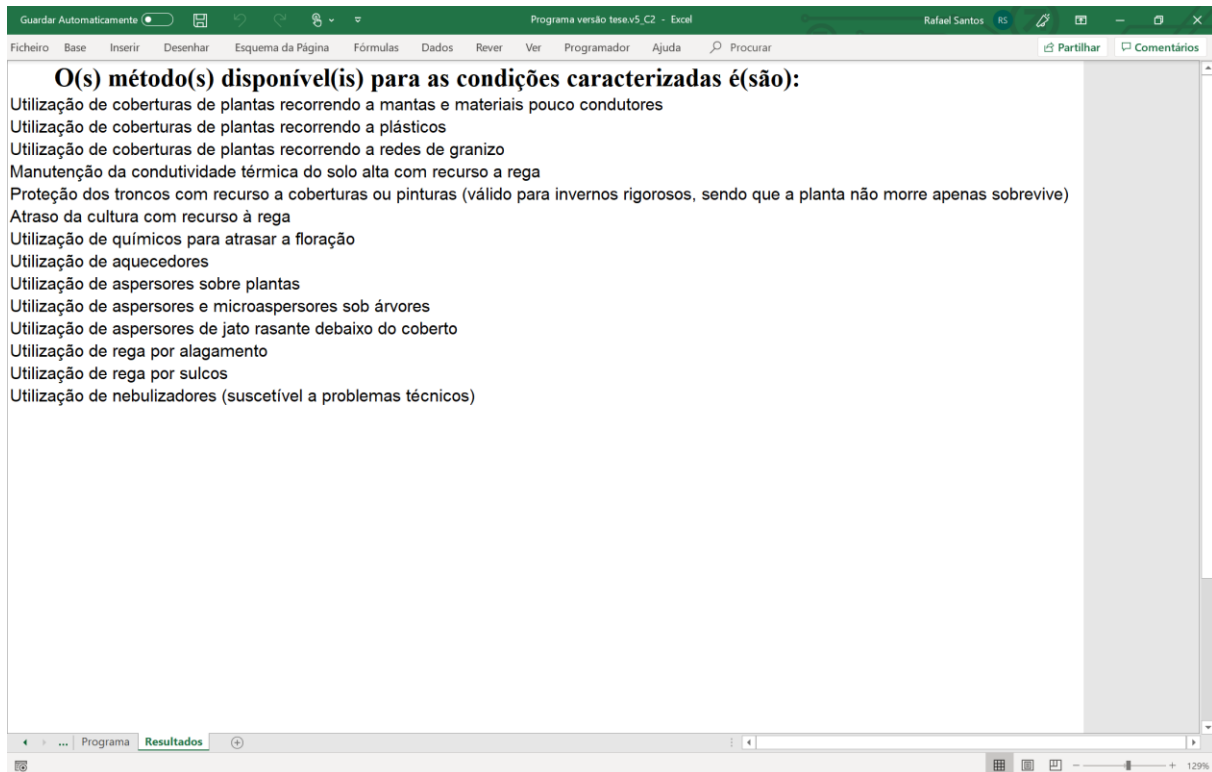


Figura 18 - Folha “Resultados” da interface do programa que expõe os resultados obtidos ao utilizador.

Caso o utilizador apresente dificuldades durante a realização do formulário, sendo estas associadas à interpretação das perguntas ou há falta de conhecimento científico para responder às mesmas, este poderá solicitar ajuda. Para abrir a folha das “Ajudas”, o utilizador terá de pressionar os controlos Ctrl + Shift + A quando tiver a célula representativa da resposta à pergunta com dúvidas selecionada. Após efetuar estes comandos, o programa abrirá a folha das “Ajudas” e a **Bold** surgirá destacado a mensagem respetiva de ajuda, conforme a Figura 19. Contudo, existem perguntas que não apresentam ajudas.

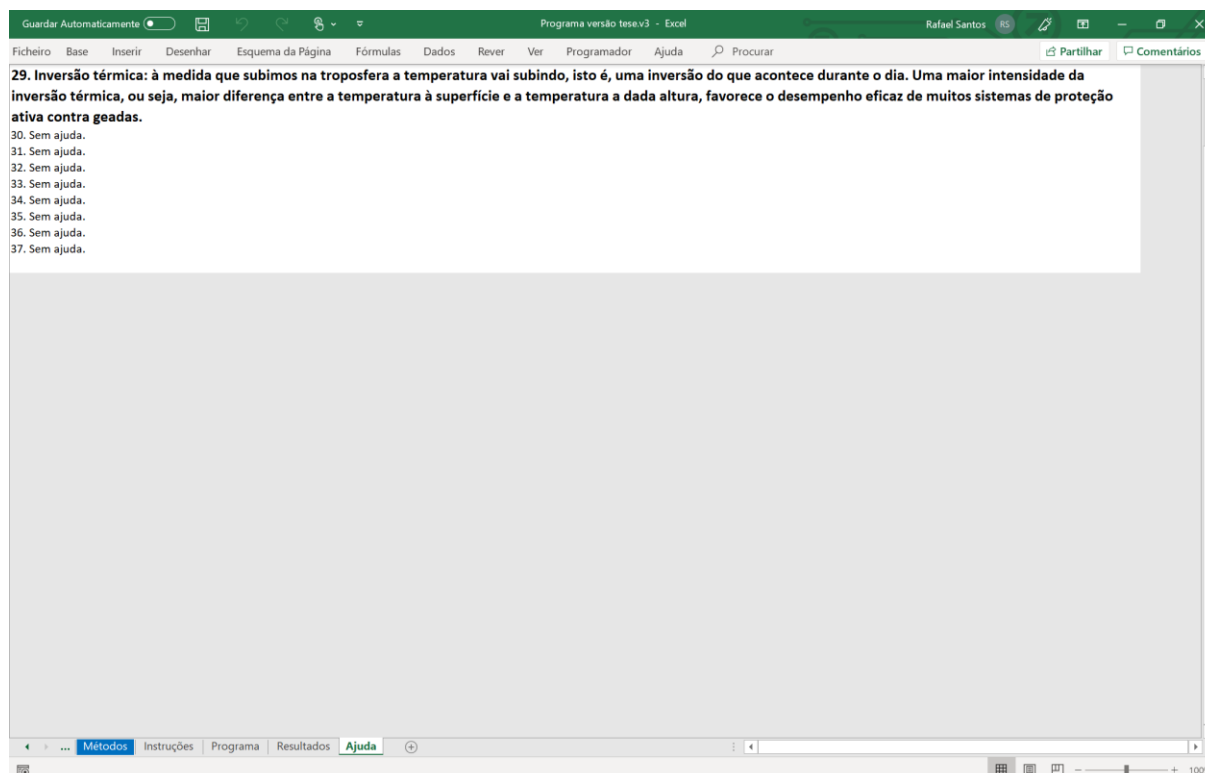


Figura 19 - Folha “Ajuda” da interface do programa que expõe as ajudas disponíveis para o utilizador consultar durante a realização do formulário.

Toda a página de ajuda está bloqueada, podendo o utilizador apenas visualizar as diferentes ajudas para cada alínea.

Para o utilizador voltar à página do programa terá de pressionar os controlos Ctrl + Shift + E.

## 6.2. Validação do programa. Casos de estudo

Neste capítulo é pretendido revelar a metodologia utilizada para avaliar a capacidade do programa em desempenhar a sua função. Para verificar o correto desempenho do programa e validar os pressupostos de base do mesmo, expôs-se a aplicação criada a 10 casos reais. Cada caso apresentou condições culturais e óticas de gestão distintas, com o intuito de avaliar a capacidade do programa em definir os métodos adequados para cada situação.

A veracidade das escolhas dos métodos, por parte do programa, foi testada comparando os resultados obtidos pela aplicação com os métodos definidos pelo perito reconhecido, Prof. José Paulo de Melo e Abreu, para o mesmo conjunto de respostas do formulário.

No Quadro 2, encontram-se as respostas dadas ao formulário do programa para o Caso 1.

Quadro 2 - Exposição das respostas dadas ao formulário do programa para o Caso 1.

<b>Caso 1</b>		
<b>Nº:</b>	<b>Pergunta:</b>	<b>Resposta:</b>
1	Qual é o tipo de cultura que necessita proteção?	1 - Frutícola
2	Relativamente ao ciclo de crescimento, a cultura de interesse é:	2 - Perene de folha caduca
3	Quanto à altura dos órgãos sensíveis, estes estão:	1 - Acima da média
4	Esta apresenta a capacidade de suportar o peso do gelo formado derivado da utilização dos métodos de proteção?	1 - Sim
5	Especifique a orientação das linhas de árvores em relação às curvas de nível:	1 - Perpendicular
6	Estaria disposto a utilizar outra cultivar com maior geado-resistência, caso exista?	2 - Não
7	É tecnicamente viável alterar a nutrição azotada da cultura? (só para culturas permanentes)	2 - Não
8	Está disposto a realizar as obras necessárias?	1 - Sim
9	Existe alguma consociação passível de realizar com a sua cultura? (só culturas permanentes)	2 - Não
10	Gestão da entrelinha:	2- Terreno mobilizado durante maior parte da campanha
11	A sua cultura está em estufa?	2 - Não
12	Estaria disposto a alterar o modo de condução da sua cultura?	2 - Não
13	Em relação às horas de frio, o local:	1 - Satisfaz as horas de frio
14	Existem zonas de formação de ar frio acima desta cota e fluxo de ar frio para a parcela?	1 - Sim
14b	Qual a diferença de cota (m) entre o terreno mais alto e o local em que está o seu campo?	500 m
15	O seu terreno encontra-se num vale?	1 - Sim
15b	Se sim, qual a distância ao fundo do vale? (m)	200 m
16	Qual é o declive do terreno?	2 - 1 a 5%
17	O terreno apresenta uma exposição, voltado a:	5 - S
18	Relativamente à ondulação, o seu terreno tem um declive constante para barlavento:	1 - Sim
19	Tipo de solo:	1 - Não orgânico
19b	Relativamente à sua cor:	1 - Escuro
20	A espessura de solo é fina?	2 - Não
21	Existe a possibilidade de colocar uma barreira para divergir o ar frio?	1 - Sim
21b	Se sim, estaria disposto a fazer esse investimento?	1 - Sim
22	Encontra-se alguma barreira a bloquear o fluxo de ar frio a jusante?	2 - Não
23	O terreno encontra-se próximo de um centro urbano:	2 - Não
24	Os seus vizinhos suportam possíveis barulhos causados pelos métodos de controlo de geadas?	2 - Não
25	Disponibilidade em água:	1 - Pequena
26	No caso das culturas em estufa, a estrutura aguenta o peso do gelo?	2 - Não
27	Nas noites de geada, em geral, o local apresenta velocidades de vento superiores a 8 Km/s?	2 - Não
28	A localização da cultura é mais suscetível a que tipo de geadas?	1 - Geada de Radiação (GR)
29	Definição da inversão térmica local:	2 - Média



30	O utilizador está disponível a realizar o investimento relativo a instalação de um método de controlo de geadas?	1 - Sim
31	O utilizador tem capacidade para suportar a mão-de-obra e os custos variáveis associados (energia, água, etc.)?	2 - Não
32	Estaria disposto a mudar o local da cultura?	2 - Não
33	Diga qual a área ocupada pela cultura (em ha):	10 ha
34	Mencione o compasso utilizado (metros na linha x metros na entre linha):	3 x 7 (m x m)
35	Indique a temperatura mínima verificada durante o período sensível da cultura (em °C):	-3,5 °C
36	Indique a temperatura crítica da sua cultura (em °C):	-2 °C
37	Estime o número médio de eventos de geadas durante os estados fenológicos sensíveis:	5

Para as condições descritas no Quadro 2, segundo o perito, os métodos capazes de suprimir os danos potenciais das geadas são: a gestão da drenagem de ar frio e a utilização de químicos para atrasar a floração.

Na Figura 20, encontra-se os resultados obtidos pelo programa tendo como base as condições descritas no Quadro 2.

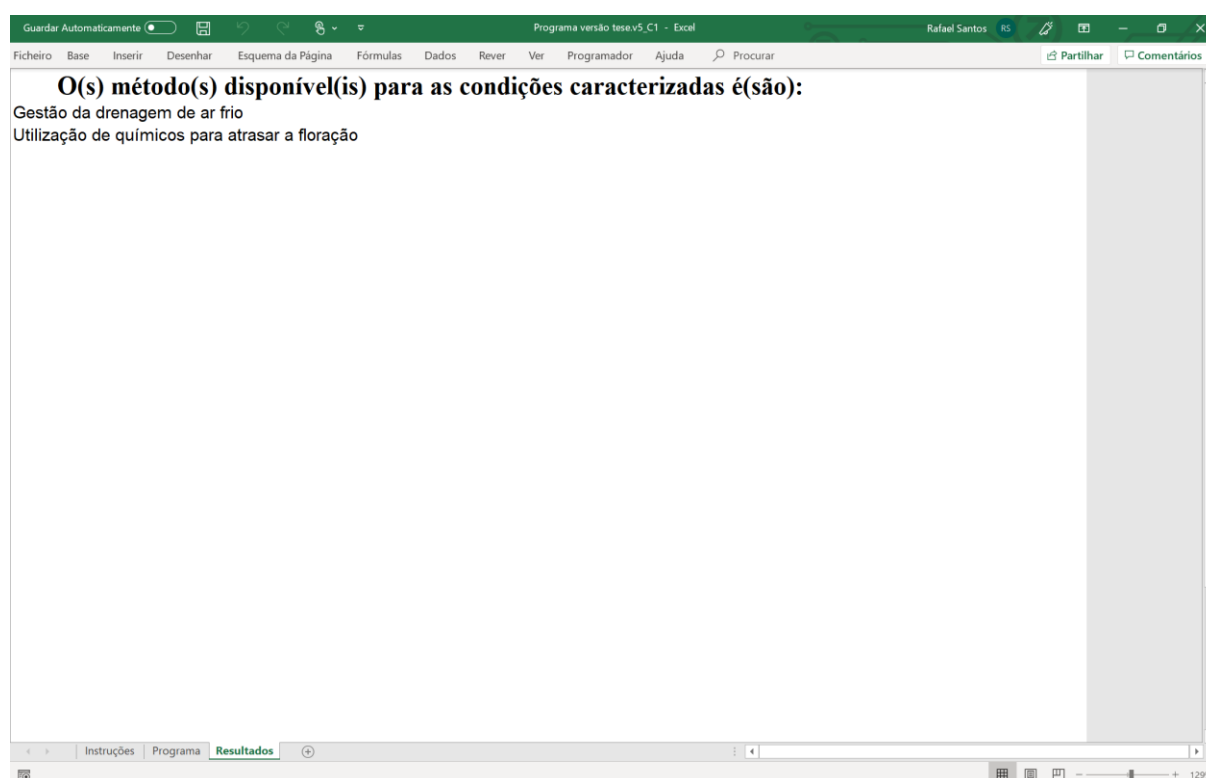


Figura 20 - Resultados obtidos pelo programa para o Caso 1.



As restantes respostas dadas ao formulário do programa para os Casos 2 a 10 são apresentadas nos Quadros 8 a 16 dos anexos. Os respetivos resultados obtidos para estes casos encontram-se nas Figuras 21 a 29 dos anexos. Os métodos indicados pelo perito coincidiram com os selecionados pelo programa em todos os casos.

## 7. Discussão

O objetivo primordial deste trabalho foi criar um sistema de apoio à tomada de decisão, capaz de suprimir quaisquer dúvidas que os agricultores possam ter relativamente ao método de luta contra geadas a utilizar. Verificando os métodos de luta contra geadas definidos pela aplicação para os casos 2 a 10, ao longo das Figuras 21 a 29 dos anexos, como os métodos selecionados pelo perito para as condições indicadas, constata-se que o programa foi exímio na definição dos métodos de luta contra geadas a utilizar. O mesmo se sucedeu para Caso 1, o que significa que em todos os casos, o programa obteve respostas similares ao perito.

Contudo, o programa em si apresenta na maior parte das situações mais do que um método capaz, o que poderá gerar alguma contestação em relação à utilidade do sistema criado. Pois, todos os agricultores tencionam obter uma resposta fácil e concisa, e não uma lista de possibilidades. Por essa razão, esta é a desvantagem da utilização deste tipo de sistemas de apoio à tomada de decisão.

Posteriormente ao término do programa, escolheu-se aleatoriamente alguns agricultores e alunos do Instituto Superior de Agronomia para testarem o programa. No próximo tópico é exposto as críticas realizadas, pelos mesmos, ao programa criado.

### 7.1. Limites de utilização do programa

- Limitações do Excel

Após a utilização do programa por parte de alguns utilizadores, notou-se alguma desformatação das células associadas às perguntas subordinadas, isto é, perguntas com a denominação “b”. A causa deste problema deveu-se, sobretudo, ao facto da formatação das células adjacentes influenciar a célula respetiva, visto que uma célula central partilha 4 limites com células adjacentes.

Em adição, alguns utilizadores identificaram demora no processamento da *MACRO* criada. Os ciclos de informação são extensos e a simples modificação de uma célula leva ao processamento de uma grande quantidade de informação. Este problema pode ser resolvido utilizando uma máquina com maior capacidade de processamento de informação ou através da simplificação do código criado, contudo, o objetivo do programa passa por todos os agricultores conseguirem correr o programa.

- **Interface do programa**

Relativamente à interface do modelo apresentado, os utilizadores, no geral, definiram o *display* do programa como pouco apelativo e massudo. As cores da aplicação deveriam ser outras e consideraram o aspeto do programa retrógrado face à tecnologia que se estava a tentar criar. A interface do programa desempenha um papel crucial na interação do utilizador com o próprio programa. Esta deve ser simples e direta, com a finalidade de tornar as ações do utilizador intuitivas. No entanto, a simplificação em demasia da mesma poderá ter sido responsável pela incapacidade de cativar a atenção do utilizador. Este problema poderá pôr em causa a coerência das respostas dadas pelo utilizador às perguntas, visto que o interesse do utilizador em usar uma aplicação retrograda é diminuto.

Em adição, foi defendido que o aparecimento de notas explicativas após a seleção das células referentes às respostas não estariam no local mais adequado e eram pouco chamativas. Na versão atual do Excel não é possível efetuar qualquer tipo de formatação a estas notas.

- **Perguntas repetitivas e complexas**

A criação de um programa tendo como base de interação com o utilizador um formulário, foi bem aceite na generalidade dos utilizadores. Em contrapartida, os utilizadores sem formação superior demonstraram alguma dificuldade em responder na íntegra ao formulário. Determinadas questões revelaram-se demasiado complexas devido a ser necessário ter bases científicas para responder de forma congruente. Para suprimir este problema criou-se a folha “Ajuda”. Porém, não foi possível avaliar o desempenho desta valência.

Por outro lado, os utilizadores mais astutos criticaram a ordem das perguntas, afirmando que poderiam ser organizadas segundo temas ou tópicos.

- **Necessidade de obter outro tipo de dados**

No geral, os utilizadores afirmaram que a finalidade para qual o programa tinha sido construído foi bem conseguida. Ainda assim, seria útil obter dados mais profundos tanto sobre o utilizador como sobre os métodos. Como por exemplo, identificar se existe algum sistema, que possa atuar como método de luta contra geadas, já instalado na situação atual do utilizador. Por outro lado, dar uma visão financeira da utilização dos métodos abordados ao longo da dissertação. Deste modo, seria possível diminuir a lista de métodos capazes de controlar os danos causados pelas geadas para as situações caracterizadas.

## **7.2. Melhoramentos futuros**

Com o intuito de resolver os problemas identificados pelos utilizadores, no futuro, propõe-se as seguintes melhorias:

- **Reformulação estrutural das perguntas**

Face aos problemas identificados, urge a necessidade de reformular a ordem das perguntas. Portanto, por exemplo, as perguntas relacionadas com o consumo de água e suporte do peso gelo formado (perguntas 4, 25 e 26), devido à utilização de água, deverão estar seguidas. Sendo que no caso de resposta negativa em relação à disponibilidade de água, as perguntas relacionadas com a capacidade de suportar o peso do gelo por parte das culturas e estruturas deverão desaparecer. Da mesma forma, caso a resposta à pergunta 11, “A sua cultura está em estufa?”, fosse negativa, a pergunta 26 deverá desaparecer.

Este mecanismo deverá ser aplicado aos restantes tópicos. Como é o caso das perguntas relacionadas com as decisões culturais, melhor dizendo, com a gestão da entrelinha, nutrição, condução e poda, ou relacionadas com a geografia e relevo do terreno. Todo este processo de ordenação do formulário aumentará a coerência estrutural das perguntas.

- **Criação de uma interface mais amigável do utilizador**

A imperfeição da interface do programa foi identificada antes do término do projeto. A reconstrução da interface do programa, como consequência, levaria à reformulação total do código criado. Desta maneira, seria necessário expandir o período de entrega do projeto. Por essa razão, optou-se por deixar a interface inicial do programa e definir as alterações futuras a realizar.

Assim, definiu-se que o *display* da aplicação teria uma moldura de cores alusivas ao símbolo do Instituto Superior de Agronomia e que apresentaria não só este símbolo como o símbolo da Universidade de Lisboa na moldura. Em adição, o utilizador para responder a todas as perguntas do formulário deixaria de ter de fazer *Scroll Down*, passando a mudar de página do formulário com recurso a um botão. Desta forma, o formulário passaria a ter uma disposição horizontal, em vez de uma disposição vertical. A mudança visual do programa teria como principal finalidade a suavização da sua própria utilização, tornando o programa menos massudo e fácil de utilizar.

- **Coordenação do sistema criado com outros programas**

A versão atual do programa criado realiza a sua tarefa na plenitude. No entanto, muitos dos utilizadores procura uma resposta mais precisa e delimitativa. Os agricultores não procuram a lista de métodos disponíveis para resolver o problema das geadas, mas sim o método com melhores resultados e menores custos possíveis.

Nesta visão, é necessário acoplar funções ao programa que este não desempenha. Destas funções destaca-se: a análise financeira dos métodos de controlo de geadas disponíveis nos dias de hoje; caracterização climática das diversas regiões do país com

recurso a normais climáticas e o cálculo dos prejuízos de geadas para as culturas. Esta adição de funcionalidades poderá ser conseguida através da adição do código dos respetivos programas responsáveis por realizar estas tarefas ao programa criado. Ou seja, através da ligação direta entre o programa criado com os programas FrostEcon, Clima e Solo, e Dest, onde ocorra partilha de dados e funções.

## 8. Conclusões e considerações finais

A realização deste trabalho sobre o desenvolvimento de uma aplicação informática para aferir a viabilidade técnica de métodos de luta contra geadas em fruticultura permitiu:

- Auxiliar os fruticultores no processo de tomada de decisão sobre o(s) método(s) de luta contra as geadas capaz(es) de suprimir os danos potenciais das geadas, utilizando o protótipo criado. Neste sentido, este cumpriu na íntegra o objetivo de trabalho proposto;
- Constatar que a criação deste tipo de sistemas de apoio à tomada de decisão é útil para os agricultores, e não só na luta contra as geadas, mas também em muitos outros campos em que a tomada de decisão envolve sistemas complexos;
- Apresentar os resultados segundo uma lista de métodos viáveis e não apenas uma solução única. A redução considerável desta lista é conseguida caso se obtenha informação mais detalhada e se faça uma análise multicritério;
- Disponibilizar um leque de programas existentes e acessíveis a qualquer utilizador que a partir da lista de métodos viáveis conseguem encontrar a solução mais vantajosa para o utilizador;
- Prever que o futuro da aplicação criada passa pela incorporação destes programas numa só aplicação. Contudo, a simplicidade e facilidade de utilização da mesma pode ser posta em causa.

## Bibliografia:

- Alden, J., & Hermann, R. K. (1971). Aspects of the cold-hardiness mechanism in plants. *The Botanical Review*, 37(1), 37–142. <https://doi.org/10.1007/BF02860300>
- Allen, C. D., Macalady, A. K., Chenchouni, H., Bachelet, D., McDowell, N., Vennetier, M., ... Cobb, N. (2010). A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management*, 259(4), 660–684. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.09.001>
- Anderson, J. L., Richardson, E. A., Ashcroft, G. L., Keller, J., Alfaro, J., Hanson, G., & Griffin, R. E. (1973). Reducing freeze damage to fruit by overhead sprinkling. *Utah Science*, 34(4), 108–110.
- Audsley, E., Alber, S., Clift, R., Cowell, S., Crettaz, P., Gaillard, G., ... Mortensen, B. (1997). Harmonisation of environmental life cycle assessment for agriculture. *Final Report, Concerted Action AIR3-CT94-2028. European Commission, DG VI Agriculture*, 139.
- Augspurger, C. K. (2013). Reconstructing patterns of temperature, phenology, and frost damage over 124 years: Spring damage risk is increasing. *Ecology*, 94(1), 41–50. <https://doi.org/10.1890/12-0200.1>
- Bagdonas, A., Georg, J. C., & Gerber, J. F. (1978). *Techniques of frost prediction and methods of frost and cold protection. Tech. Note.*
- Baquet, A. E., Halter, A. N., & Conklin, F. S. (1976). The Value of Frost Forecasting: A Bayesian Appraisal. *American Journal of Agricultural Economics*, 58(3), 511–520. <https://doi.org/10.2307/1239268>
- Bennie, J., Kubin, E., Wiltshire, A., Huntley, B., & Baxter, R. (2010). Predicting spatial and temporal patterns of bud-burst and spring frost risk in north-west Europe: the implications of local adaptation to climate. *Global Change Biology*, 16(5), 1503–1514. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.02095.x>
- Blanc, M. L., Geslin, H., Holzberg, I. A., & Mason, B. (1963). *Protection against frost damage. Tech. Note.*
- Bouchet, R. J. (1965). Problèmes des gelées de printemps. *Agricultural Meteorology*, 2(3), 167–195. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0002-1571\(65\)90017-8](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0002-1571(65)90017-8)
- Breuer, N., Church, S., Dagang, A., Gough, A., Grier, C., Messina, C., ... Sol, G. (2000). Potential Use of Long Range Climate Forecasts by Livestock Producers in North-central Florida. *The Florida Consortium Technical Report Series FC-UF-2000-02, Gainesville.*
- Breuer, N. E., Cabrera, V. E., Ingram, K. T., Broad, K., & Hildebrand, P. E. (2008). AgClimate: a case study in participatory decision support system development. *Climatic Change*, 87(3), 385–403. <https://doi.org/10.1007/s10584-007-9323-7>
- Bridley, S. F., Taylor, R. J., & Webber, R. T. J. (1965). The effects of irrigation and rolling on

- nocturnal air temperatures in vineyards. *Agricultural Meteorology*, 2(6), 373–383.  
[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0002-1571\(65\)90042-7](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0002-1571(65)90042-7)
- Burke, M. J., Gusta, L. V., Quamme, H. A., Weiser, C. J., & Li, P. H. (1976). Freezing and Injury in Plants. *Annual Review of Plant Physiology*, 27(1), 507–528.  
<https://doi.org/10.1146/annurev.pp.27.060176.002451>
- Charrier, G., Bonhomme, M., Lacoite, A., & Améglio, T. (2011). Are budburst dates, dormancy and cold acclimation in walnut trees (*Juglans regia* L.) under mainly genotypic or environmental control? *International Journal of Biometeorology*, 55(6), 763–774.  
<https://doi.org/10.1007/s00484-011-0470-1>
- Charrier, G., Ngao, J., Saudreau, M., & Améglio, T. (2015). Effects of environmental factors and management practices on microclimate, winter physiology, and frost resistance in trees. *Frontiers in Plant Science*, 6(April), 1–18. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00259>
- Daly, C., Conklin, D. R., & Unsworth, M. H. (2010). Local atmospheric decoupling in complex topography alters climate change impacts. *International Journal of Climatology*, 30(12), 1857–1864. <https://doi.org/10.1002/joc.2007>
- Davidson, N. J., & Reid, J. B. (1985). Frost as a Factor Influencing the Growth and Distribution of Subalpine Eucalypts. *Australian Journal of Botany*, 33(6), 657–667. Obtido de <https://doi.org/10.1071/BT9850657>
- Day, W., Audsley, E., & Frost, A. R. (2008). An engineering approach to modelling, decision support and control for sustainable systems. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1491), 527–541.  
<https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2168>
- De Melo-Abreu, J. P. (2018). *Agrometeorologia: Aplicação da meteorologia para maximizar a produção agrícola*. (Agrobook, Ed.) (10.<sup>a</sup>–2018.<sup>a</sup> ed.).
- De Melo-Abreu, J. P., Ferreira da Silva, J. P., Magalhães, M. R., Cunha, N., Pena, S., Barata, L. T., & Leitão, M. (2018). MeuClima&Solo. Lisboa, Portugal: Universidade de Lisboa. Obtido de [http://home.isa.utl.pt/~jpabreu/Progs/MeuClima&Solo\\_Ver1.01.xlsm](http://home.isa.utl.pt/~jpabreu/Progs/MeuClima&Solo_Ver1.01.xlsm)
- De Melo-Abreu, J. P., & Ribeiro, A. C. (2010). Os danos de geada: conceitos, mecanismos e modelos de simulação. *Clima e Recursos Naturais: Conferências de Homenagem ao Prof. Doutor Dionísio Gonçalves.*, 141–166.
- De Melo-Abreu, J. P., & Snyder, R. L. (2003). DEST. Lisboa, Portugal: Universidade de Lisboa. Obtido de <http://home.isa.utl.pt/~jpabreu/Progs/DEST.xls>
- De Melo-Abreu, J. P., Snyder, R. L., & Matulich, S. (2003). FrostEcon. Lisboa, Portugal: Universidade de Lisboa. Obtido de <http://home.isa.utl.pt/~jpabreu/Progs/FrostEcon.xls>
- Diffenbaugh, N. S., Pal, J. S., Giorgi, F., & Gao, X. (2007). Heat stress intensification in the Mediterranean climate change hotspot. *Geophysical Research Letters*, 34(11), L11706.  
<https://doi.org/10.1029/2007GL030000>



- Dy, G., & Payette, S. (2007). Frost hollows of the boreal forest as extreme environments for black spruce tree growth. *Canadian Journal of Forest Research*, 37(2), 492–504. <https://doi.org/10.1139/X06-235>
- Ford, K. R., Harrington, C. A., Bansal, S., Gould, P. J., & St. Clair, J. B. (2016). Will changes in phenology track climate change? A study of growth initiation timing in coast Douglas-fir. *Global Change Biology*, 22(11), 3712–3723. <https://doi.org/10.1111/gcb.13328>
- Giorgi, F., & Lionello, P. (2008). Climate change projections for the Mediterranean region. *Global and Planetary Change*, 63(2–3), 90–104. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2007.09.005>
- Gustavsson, T., Karlsson, M., Bogren, J., & Lindqvist, S. (1998). Development of Temperature Patterns during Clear Nights. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, (1985), 559–571. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1998\)037<0559:DOTPDC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1998)037<0559:DOTPDC>2.0.CO;2)
- Guy, C. L. (1990). Cold Acclimation and Freezing Stress Tolerance: Role of Protein Metabolism. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 41(1), 187–223. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.41.060190.001155>
- Hailpern, B., & Santhanam, P. (2002). Software debugging, testing, and verification. *IBM Systems Journal*, 41(1), 4–12. <https://doi.org/10.1147/sj.411.0004>
- Hänninen, H. (2016). *Boreal and Temperate Trees in a Changing Climate: Modelling the Ecophysiology of Seasonality*. Springer Netherlands, Dordrecht. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-7549-6>
- Heinemann, P. H., Morrow, C. T., Crassweller, R. M., David Martsolf, J., & Perry, K. B. (1992). A DECISION SUPPORT PROGRAM FOR THE PROTECTION OF CROPS FROM FROST. *Acta Horticulturae*, (313), 219–226. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1992.313.27>
- Hildebrand, P., Caudle, A., Cabrera, V., Downs, M., Langholtz, M., Mugisha, A., ... Beach, K. (1999). Potential use of long range climate forecasts by Agricultural Extension Agents in Florida.
- Hough, A. F. (1945). Frost Pocket and Other Microclimates in Forests of the Northern Allegheny Plateau. *Ecology*, 26(3), 235–250. <https://doi.org/10.2307/1932404>
- Hufkens, K., Friedl, M. A., Keenan, T. F., Sonnentag, O., Bailey, A., O’Keefe, J., & Richardson, A. D. (2012). Ecological impacts of a widespread frost event following early spring leaf-out. *Global Change Biology*, 18(7), 2365–2377. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2012.02712.x>
- Inouye, D. W. (2008). EFFECTS OF CLIMATE CHANGE ON PHENOLOGY, FROST DAMAGE, AND FLORAL ABUNDANCE OF MONTANE WILDFLOWERS. *Ecology*, 89(2), 353–362. <https://doi.org/10.1890/06-2128.1>
- Instituto Português do Mar e da Atmosfera. (2012). *Circular nº02*.



- Jacobsen, S.-E., Monteros, C., Corcuera, L. J., Bravo, L. A., Christiansen, J. L., & Mujica, A. (2007). Frost resistance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *European Journal of Agronomy*, 26(4), 471–475. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eja.2007.01.006>
- Jönsson, A. M., Linderson, M.-L., Stjernquist, I., Schlyter, P., & Bärning, L. (2004). Climate change and the effect of temperature backlashes causing frost damage in *Picea abies*. *Global and Planetary Change*, 44(1–4), 195–207. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2004.06.012>
- Katz, R. W., Murphy, A. H., & Winkler, R. L. (1982). Assessing the Value of Frost Forecasts to Orchardists: A Dynamic Decision-Making Approach. *Journal of Applied Meteorology*, 21(4), 518–531. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1982\)021<0518:ATVOFF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1982)021<0518:ATVOFF>2.0.CO;2)
- Leblanc, & Mellor-Crummey. (1987). Debugging Parallel Programs with Instant Replay. *IEEE Transactions on Computers*, C–36(4), 471–482. <https://doi.org/10.1109/TC.1987.1676929>
- Letson, D., Hansen, J. W., Hildebrand, P. E., Jones, J. W., O'Brien, J. J., Podestá, G. P., ... Zierden, D. F. (2001). Florida's agriculture and climatic variability: Reducing vulnerability. *Florida Geographer*, 1(32), 38–57.
- Levitt, J. (1980). *Responses of plants to environmental stress. Chilling, freezing, and high temperature stresses*. Academic Press.
- Lomas, J., Gat, Z., Borsuk, Z., & Raz, A. (1989). Frost Atlas of Israel. *Division of Agricultural Meteorology, Israel Meteorology Service, Bet Dagan*.
- Loveys, B. R., Egerton, J. J. G., & Ball, M. C. (2006). Higher daytime leaf temperatures contribute to lower freeze tolerance under elevated CO<sub>2</sub>, 1077–1086. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2005.01482.x>
- Ma, Q., Huang, J. G., Hänninen, H., & Berninger, F. (2019). Divergent trends in the risk of spring frost damage to trees in Europe with recent warming. *Global Change Biology*, 25(1), 351–360. <https://doi.org/10.1111/gcb.14479>
- Matusick, G., Ruthrof, K. X., Brouwers, N. C., & Hardy, G. S. J. (2014). Topography influences the distribution of autumn frost damage on trees in a Mediterranean-type Eucalyptus forest. *Trees - Structure and Function*, 28(5), 1449–1462. <https://doi.org/10.1007/s00468-014-1048-4>
- Mjelde, J. W., Sonka, S. T., Dixon, B. L., & Lamb, P. J. (1988). Valuing Forecast Characteristics in a Dynamic Agricultural Production System. *American Journal of Agricultural Economics*, 70(3), 674–684. <https://doi.org/10.2307/1241506>
- Motzkin, G., Ciccarello, S. C., & Foster, D. R. (2002). Frost Pockets on a Level Sand Plain: Does Variation in Microclimate Help Maintain Persistent Vegetation Patterns? *The Journal of the Torrey Botanical Society*, 129(2), 154–163.

<https://doi.org/10.2307/3088728>

- Nigond, J. (1960). Le retard au débourrement de la vigne par un traitement à l'acide a-naphtalène acétique et la lutte contre les gelées. *Comptes Rendus des Séances de l'Académie d'Agriculture de France*, 46, 452–457.
- Palonen, P., & Lindén, L. (1999). Dormancy, Cold Hardiness, Dehardening, and Rehardening in Selected Red Raspberry Cultivars. *Journal of the American Society for Horticultural Science* *jashs*, 124(4). <https://doi.org/https://doi.org/10.21273/jashs.124.4.341>
- Park Williams, A., Allen, C. D., Macalady, A. K., Griffin, D., Woodhouse, C. A., Meko, D. M., ... McDowell, N. G. (2013). Temperature as a potent driver of regional forest drought stress and tree mortality. *Nature Climate Change*, 3(3), 292–297. <https://doi.org/10.1038/nclimate1693>
- Paton, D. M. (1988). Genesis of an Inverted Treeline Associated With a Frost Hollow in South-Eastern Australia. *Australian Journal of Botany*, 36(6), 655–663. Obtido de <https://doi.org/10.1071/BT9880655>
- Perry, K. B. (1994). Freeze/frost protection for horticultural crops. North Carolina State University Cooperative Extension, Horticulture.
- Peyer, E. (1965). La protection des vignes contre le gel par des couvertures. *Phytoma*.
- Podestá, G. P., Messina, C. D., Grondona, M. O., & Magrin, G. O. (1999). Associations between Grain Crop Yields in Central-Eastern Argentina and El Niño–Southern Oscillation. *Journal of Applied Meteorology*, 38(10), 1488–1498. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1999\)038<1488:ABGCYI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1999)038<1488:ABGCYI>2.0.CO;2)
- Powell, A., & Himelrick, D. (2000). Principles of freeze protection for fruit crops.
- Prasad, G. N. R., & Vinaya, B. D. A. (2006). A study on various expert systems in agriculture. *Computer Sciences and Telecommunications*, (4), 81–86.
- Proebsting, E. L. (1978). Adapting cold hardiness concepts to deciduous fruit culture. Em *Plant cold hardiness and freezing stress* (pp. 267–279). Elsevier.
- Ribeiro, A. C. (2003). *Estudo do microclima de um pomar de macieiras em Trás-os-Montes, em condições de geada: avaliação da ventilação forçada como método de luta contra as geadas*. Tese de Doutoramento. Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia.
- Rihan, H. Z., Al-Issawi, M., & Fuller, M. P. (2017). Advances in physiological and molecular aspects of plant cold tolerance. *Journal of Plant Interactions*, 12(1), 143–157. <https://doi.org/10.1080/17429145.2017.1308568>
- Ruiz, E. T. (1995). *Agrometeorología*. Trillas. Obtido de <https://books.google.pt/books?id=NDB9OwAACAAJ>
- Savage, E. F., Jensen, R. E., & Hayden, R. A. (1976). Peach tree micro-climate and methods of modification. *Research Bulletin-Georgia Experiment Station (USA)*. no. 192.

- Schultz, H. B., & Weaver, R. J. (1977). *Preventing frost damage in vineyards*. Cooperative Extension, University of California.
- Siminovitch, D., Singh, J., & Roche, I. A. D. La. (1978). Freezing behavior of free protoplasts of winter rye. *Cryobiology*, 15(2), 205–213. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0011-2240\(78\)90025-1](https://doi.org/10.1016/0011-2240(78)90025-1)
- Smith, L. P. (1975). The modes of agricultural meteorology–Hazards. *Developments in Atmospheric Science*, (3), 167–171.
- Snyder, R. L., & De Melo-Abreu, J. P. (2005). *Frost Protection: Fundamentals, Practice and Economics*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Obtido de <https://books.google.pt/books?id=dfCe91MYUjcC>
- Stern, P. C., & Easterling, W. E. (1999). *Making climate forecasts matter*. National Academies Press.
- Vitasse, Y., Lenz, A., & Körner, C. (2014). The interaction between freezing tolerance and phenology in temperate deciduous trees. *Frontiers in Plant Science*, 5. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00541>
- Waco, D. E. (1968). FROST POCKETS IN THE SANTA MONICA MOUNTAINS OF SOUTHERN CALIFORNIA. *Weather*, 23(11), 456–461. <https://doi.org/10.1002/j.1477-8696.1968.tb03024.x>
- Walkenbach, J. (2013). *Excel VBA Programming For Dummies*. John Wiley & Sons.
- Warmund, M. R., Guinan, P., & Fernandez, G. (2008). Temperatures and Cold Damage to Small Fruit Crops Across the Eastern United States Associated with the April 2007 Freeze. *HortScience*, 43(6), 1643–1647. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.6.1643>
- Wayne, P. M., Reekie, E. G., & Bazzaz, F. A. (1998). Elevated CO<sub>2</sub> ameliorates birch response to high temperature and frost stress: implications for modeling climate-induced geographic range shifts. *Oecologia*, 114(3), 335–342. <https://doi.org/10.1007/s004420050455>
- Weiser, C. J. (1982). Cold hardiness and stress research: an evolving agricultural science. *Plant Cold Hardiness and Freezing Stress*, 2, 313–332.

## Anexos

Quadro 3 - Identificação auxiliar dos métodos presentes no programa, permitindo a compreensão dos respetivos fluxogramas de processos.

<b>Identificação do método</b>	<b>Denominação do método</b>
<b>M1</b>	Seleção do Local
<b>M2</b>	Gestão da drenagem de ar frio
<b>M3</b>	Seleção de novas cultivares
<b>M4</b>	Gestão das copas das árvores (utilização de culturas de sombra)
<b>M5</b>	Gestão da nutrição das planas
<b>M6</b>	Alteração da condução e poda da cultura
<b>M7</b>	Utilização de coberturas de plantas recorrendo a mantas e materiais pouco condutores
<b>M8</b>	Utilização de coberturas de plantas recorrendo a plásticos
<b>M9</b>	Utilização de coberturas de plantas recorrendo a redes de granizo
<b>M10</b>	Manutenção da condutividade térmica do solo alta com recurso a rega
<b>M11</b>	Gestão da entrelinha
<b>M12</b>	Proteção dos troncos com recurso a coberturas ou pinturas
<b>M13</b>	Atraso da cultura com recurso à rega
<b>M14</b>	Utilização de químicos para atrasar a floração
<b>M15</b>	Utilização de aquecedores
<b>M16</b>	Utilização de ventiladores
<b>M17</b>	Utilização de helicópteros
<b>M18</b>	Utilização de aspersores sobre plantas
<b>M19</b>	Utilização de aspersores sobre coberturas
<b>M20</b>	Utilização de aspersores e microaspersores sob árvores
<b>M21</b>	Utilização de aspersores de jato rasante debaixo do coberto
<b>M22</b>	Utilização de rega por alagamento
<b>M23</b>	Utilização de rega por sulcos
<b>M24</b>	Utilização de nebulizadores

Quadro 4 - Listagem das questões realizadas pelo programa ao utilizador.

Nº da questão:	Questão:
1	Qual é o tipo de cultura que necessita proteção?
2	Relativamente ao ciclo de crescimento, a cultura de interesse é:
3	Quanto à altura dos órgãos sensíveis, estes estão:
4	Esta apresenta a capacidade de suportar o peso do gelo formado derivado da utilização dos métodos de proteção?
5	Especifique a orientação das linhas de árvores em relação às curvas de nível:
6	Estaria disposto a utilizar outra cultivar com maior geado-resistência, caso exista?
7	É tecnicamente viável alterar a nutrição azotada da cultura? (só para culturas permanentes)
8	Está disposto a realizar as obras necessárias?
9	Existe alguma consociação passível de realizar com a sua cultura? (só culturas permanentes)
10	Gestão da entrelinha:
11	A sua cultura está em estufa?
11b	Qual o material de cobertura?
12	Estaria disposto a alterar o modo de condução da sua cultura?
13	Em relação às horas de frio, o local:
14	Existem zonas de formação de ar frio acima desta cota e fluxo de ar frio para a parcela?
14b	Qual a diferença de cota (m) entre o terreno mais alto e o local em que está o seu campo?
15	O seu terreno encontra-se num vale?
15b	Se sim, qual a distância ao fundo do vale? (m)
16	Qual é o declive do terreno?
17	O terreno apresenta uma exposição, voltado a:
18	Relativamente à ondulação, o seu terreno tem um declive constante para barlavento:
19	Tipo de solo:
19b	Relativamente à sua cor:
20	A espessura de solo é fina?
21	Existe a possibilidade de colocar uma barreira para divergir o ar frio?
22	Encontra-se alguma barreira a bloquear o fluxo de ar frio a jusante?
23	O terreno encontra-se próximo de um centro urbano:
24	Os seus vizinhos suportam possíveis barulhos causados pelos métodos de controlo de geadas?
25	Disponibilidade em água:
25b	Qualidade da água disponível:
26	No caso das culturas em estufa, a estrutura em causa aguenta o peso do gelo?
27	Nas noites de geada, em geral, o local apresenta velocidades de vento superiores a 8 Km/s?
28	A localização da cultura é mais suscetível a que tipo de geadas?
29	Definição da inversão térmica local:
30	O utilizador está disponível a realizar o investimento relativo a instalação de um método de controlo de geadas?

Quadro 5 - Listagem das questões realizadas pelo programa ao utilizador (continuação).

Nº da questão:	Questão:
31	O utilizador tem capacidade para suportar a mão-de-obra e os custos variáveis associados (energia, água, etc.)?
32	Estaria disposto a mudar o local da cultura?
33	Diga qual a área ocupada pela cultura (em ha):
34	Mencione o compasso utilizado (metros na linha x metros na entre linha):
35	Indique a temperatura mínima verificada durante o período sensível da cultura (em °C):
36	Indique a temperatura crítica da sua cultura (em °C):
37	Estime o número médio de eventos de geadas durante os estados fenológicos sensíveis:

Quadro 6 - Descrição dos ganhos energéticos associados a cada método. Adaptado de: Snyder & De Melo-Abreu (2005).

Identificação do método	Ganho energético
M1	Variável
M2	Variável
M3	Variável
M4	2 °C
M5	1 °C
M6	1 °C
M7	5 °C
M8	2 °C
M9	2 °C
M10	1 °C
M11	1 °C
M12	10 °C
M13	Atraso da floração em 1 semana
M14	Atraso da floração em 20 dias (2°C)
M15	*
M16	2,5 °C
M17	2 °C
M18	7 °C
M19	6 °C
M20	1,5 °C
M21	1,5 °C
M22	4 °C
M23	4 °C
M24	5 °C

\* - O ganho energético do método 15 varia consoante o tipo de geada. No caso das geadas de radiação, o ganho energético é de 5 °C, e no caso das geadas de advecção, o ganho energético é de 2 °C.

Quadro 7 - Enumeração das questões presentes no formulário que excluem cada método. Nota: o símbolo "|" representa a acoplação de perguntas que apenas excluem o método caso seja respondido a essas perguntas determinadas respostas.

Identificação do método	Questões que excluem o método:
M1	32
M2	18, 21, 21b e 22b.
M3	6 e 6b.
M4	9, 9b e 34.
M5	7 e 7b.
M6	2, 3 e 12.
M7	30 e 31.
M8	30 e 31.
M9	30 e 31.
M10	20, 25 e 25b.
M11	10.
M12	30 e 31.
M13	25 e 25b.
M14	2.
M15	28, 29, 30 e 31.
M16	24, 27, 28 e 29.
M17	24, 27, 28 e 29.
M18	4, 20, 25, 25b, 31 e 32.
M19	11b 25b, 25, 26, 30 e 31.
M20	25, 25b, 30 e 31.
M21	20, 25, 25b, 30 e 31.
M22	16, 20, 25, 25b, 30 e 31.
M23	16, 20, 25, 25b, 30 e 31.
M24	23, 25, 27, 28, 30 e 31.

Quadro 8 - Exposição das respostas dadas ao formulário do programa para o Caso 2.

### Caso 2

Nº:	Pergunta:	Resposta:
1	Qual é o tipo de cultura que necessita proteção?	1 - Frutícola
2	Relativamente ao ciclo de crescimento, a cultura de interesse é:	2 - Perene de folha caduca
3	Quanto à altura dos órgãos sensíveis, estes estão:	1 - Acima da média
4	Esta apresenta a capacidade de suportar o peso do gelo formado derivado da utilização dos métodos de proteção?	1 - Sim
5	Especifique a orientação das linhas de árvores em relação às curvas de nível:	1 - Perpendicular
6	Estaria disposto a utilizar outra cultivar com maior geado-resistência, caso exista?	2 - Não
7	É tecnicamente viável alterar a nutrição azotada da cultura? (só para culturas permanentes)	2 - Não
8	Está disposto a realizar as obras necessárias?	1 - Sim
9	Existe alguma consociação passível de realizar com a sua cultura? (só culturas permanentes)	2 - Não
10	Gestão da entrelinha:	2- Terreno mobilizado durante maior parte da campanha

<b>11</b>	A sua cultura está em estufa?	2 - Não
<b>12</b>	Estaria disposto a alterar o modo de condução da sua cultura?	2 - Não
<b>13</b>	Em relação às horas de frio, o local:	1 - Satisfaz as horas de frio
<b>14</b>	Existem zonas de formação de ar frio acima desta cota e fluxo de ar frio para a parcela?	2 - Não
<b>15</b>	O seu terreno encontra-se num vale?	2 - Não
<b>16</b>	Qual é o declive do terreno?	2 - 1 a 5%
<b>17</b>	O terreno apresenta uma exposição, voltado a:	5 - S
<b>18</b>	Relativamente à ondulação, o seu terreno tem um declive constante para barlavento:	2 - Não
<b>19</b>	Tipo de solo:	1 - Não orgânico
<b>19b</b>	Relativamente à sua cor:	1 - Escuro
<b>20</b>	A espessura de solo é fina?	2 - Não
<b>21</b>	Existe a possibilidade de colocar uma barreira para divergir o ar frio?	2 - Não
<b>22</b>	Encontra-se alguma barreira a bloquear o fluxo de ar frio a jusante?	2 - Não
<b>23</b>	O terreno encontra-se próximo de um centro urbano:	2 - Não
<b>24</b>	Os seus vizinhos suportam possíveis barulhos causados pelos métodos de controlo de geadas?	2 - Não
<b>25</b>	Disponibilidade em água:	3 - Grande
<b>25b</b>	Qualidade da água disponível:	2 - Média
<b>26</b>	No caso das culturas em estufa, a estrutura aguenta o peso do gelo?	2 - Não
<b>27</b>	Nas noites de geada, em geral, o local apresenta velocidades de vento superiores a 8 Km/s?	2 - Não
<b>28</b>	A localização da cultura é mais suscetível a que tipo de geadas?	1 - Geada de Radiação (GR)
<b>29</b>	Definição da inversão térmica local:	2 - Média
<b>30</b>	O utilizador está disponível a realizar o investimento relativo a instalação de um método de controlo de geadas?	1 - Sim
<b>31</b>	O utilizador tem capacidade para suportar a mão-de-obra e os custos variáveis associados (energia, água, etc.)?	1 - Sim
<b>32</b>	Estaria disposto a mudar o local da cultura?	2 - Não
<b>33</b>	Diga qual a área ocupada pela cultura (em ha):	10 ha
<b>34</b>	Mencione o compasso utilizado (metros na linha x metros na entre linha):	5 x 7 (m x m)
<b>35</b>	Indique a temperatura mínima verificada durante o período sensível da cultura (em °C):	-5 °C
<b>36</b>	Indique a temperatura crítica da sua cultura (em °C):	-3 °C
<b>37</b>	Estime o número médio de eventos de geadas durante os estados fenológicos sensíveis:	5



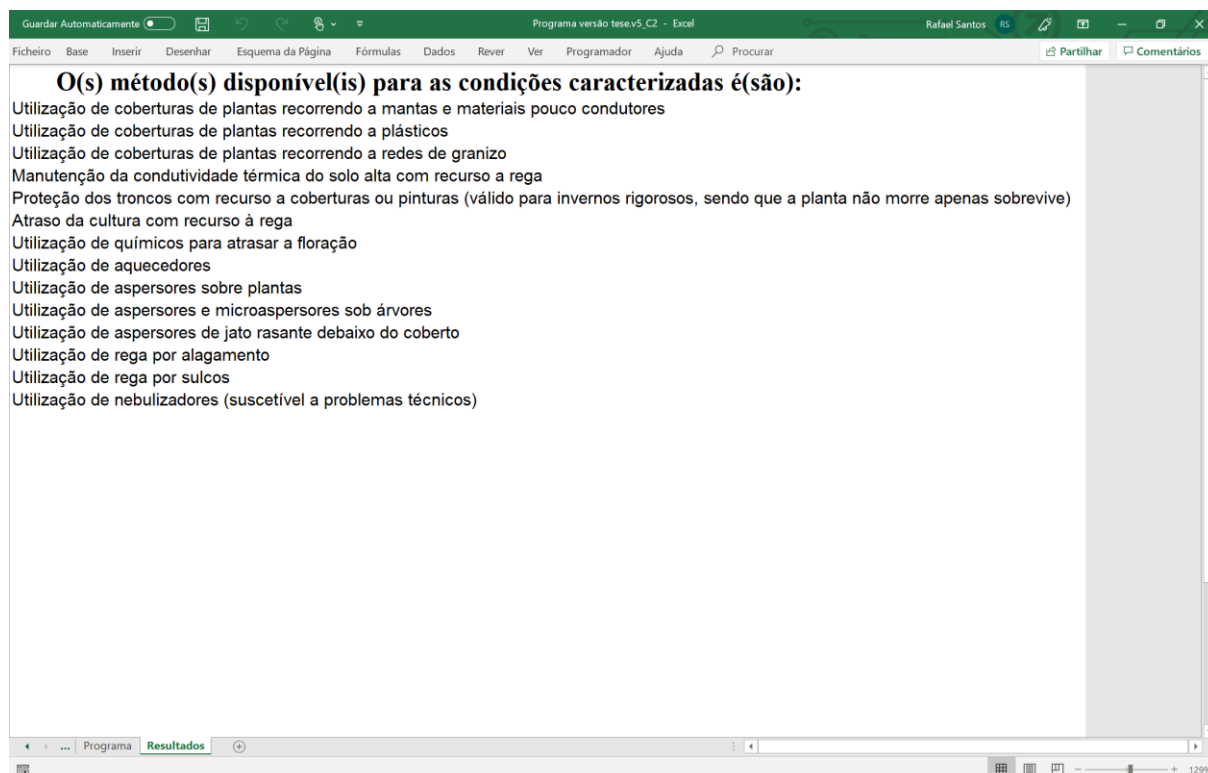


Figura 21 - Resultados obtidos pelo programa para o Caso 2.

Quadro 9 - Exposição das respostas dadas ao formulário do programa para o Caso 3.

### Caso 3

Nº:	Pergunta:	Resposta:
1	Qual é o tipo de cultura que necessita proteção?	1 - Frutícola
2	Relativamente ao ciclo de crescimento, a cultura de interesse é:	2 - Perene de folha caduca
3	Quanto à altura dos órgãos sensíveis, estes estão:	1 - Acima da média
4	Esta apresenta a capacidade de suportar o peso do gelo formado derivado da utilização dos métodos de proteção?	1 - Sim
5	Especifique a orientação das linhas de árvores em relação às curvas de nível:	1 - Perpendicular
6	Estaria disposto a utilizar outra cultivar com maior geado-resistência, caso exista?	2 - Não
7	É tecnicamente viável alterar a nutrição azotada da cultura? (só para culturas permanentes)	2 - Não
8	Está disposto a realizar as obras necessárias?	1 - Sim
9	Existe alguma consociação passível de realizar com a sua cultura? (só culturas permanentes)	2 - Não
10	Gestão da entrelinha:	2- Terreno mobilizado durante maior parte da campanha
11	A sua cultura está em estufa?	2 - Não
12	Estaria disposto a alterar o modo de condução da sua cultura?	2 - Não
13	Em relação às horas de frio, o local:	1 - Satisfaz as horas de frio
14	Existem zonas de formação de ar frio acima desta cota e fluxo de ar frio para a parcela?	2 - Não
15	O seu terreno encontra-se num vale?	2 - Não
16	Qual é o declive do terreno?	2 - 1 a 5%

17	O terreno apresenta uma exposição, voltado a:	5 - S
18	Relativamente à ondulação, o seu terreno tem um declive constante para barlavento:	2 - Não
19	Tipo de solo:	1 - Não orgânico
19b	Relativamente à sua cor:	1 - Escuro
20	A espessura de solo é fina?	2 - Não
21	Existe a possibilidade de colocar uma barreira para divergir o ar frio?	2 - Não
22	Encontra-se alguma barreira a bloquear o fluxo de ar frio a jusante?	2 - Não
23	O terreno encontra-se próximo de um centro urbano:	2 - Não
24	Os seus vizinhos suportam possíveis barulhos causados pelos métodos de controlo de geadas?	2 - Não
25	Disponibilidade em água:	1 - Pequena
26	No caso das culturas em estufa, a estrutura aguenta o peso do gelo?	2 - Não
27	Nas noites de geada, em geral, o local apresenta velocidades de vento superiores a 8 Km/s?	2 - Não
28	A localização da cultura é mais suscetível a que tipo de geadas?	1 - Geada de Radiação (GR)
29	Definição da inversão térmica local:	2 - Média
30	O utilizador está disponível a realizar o investimento relativo a instalação de um método de controlo de geadas?	1 - Sim
31	O utilizador tem capacidade para suportar a mão-de-obra e os custos variáveis associados (energia, água, etc.)?	1 - Sim
32	Estaria disposto a mudar o local da cultura?	2 - Não
33	Diga qual a área ocupada pela cultura (em ha):	10 ha
34	Mencione o compasso utilizado (metros na linha x metros na entre linha):	5 x 7 (m x m)
35	Indique a temperatura mínima verificada durante o período sensível da cultura (em °C):	-5 °C
36	Indique a temperatura crítica da sua cultura (em °C):	-3 °C
37	Estime o número médio de eventos de geadas durante os estados fenológicos sensíveis:	5

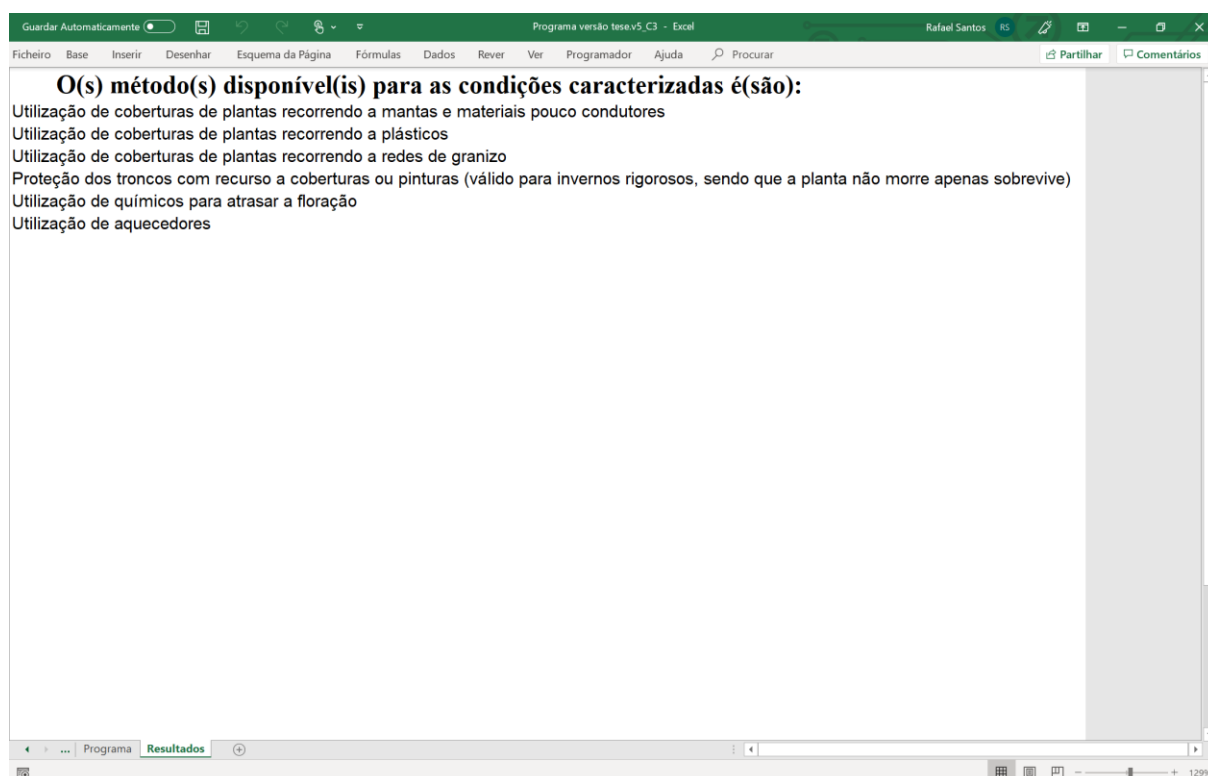


Figura 22 - Resultados obtidos pelo programa para o Caso 3.

Quadro 10 - Exposição das respostas dadas ao formulário do programa para o Caso 4.

### Caso 4

Nº:	Pergunta:	Resposta:
1	Qual é o tipo de cultura que necessita proteção?	1 - Frutícola
2	Relativamente ao ciclo de crescimento, a cultura de interesse é:	3 - Perene de folha persistente
3	Quanto à altura dos órgãos sensíveis, estes estão:	1 - Acima da média
4	Esta apresenta a capacidade de suportar o peso do gelo formado derivado da utilização dos métodos de proteção?	2 - Não
5	Especifique a orientação das linhas de árvores em relação às curvas de nível:	1 - Perpendicular
6	Estaria disposto a utilizar outra cultivar com maior geado-resistência, caso exista?	1 - Sim
6b	Tem capacidade para suportar os custos associados?	1 - Sim
7	É tecnicamente viável alterar a nutrição azotada da cultura? (só para culturas permanentes)	2 - Não
8	Está disposto a realizar as obras necessárias?	2 - Não
9	Existe alguma consociação passível de realizar com a sua cultura? (só culturas permanentes)	2 - Não
10	Gestão da entrelinha:	2- Terreno mobilizado durante maior parte da campanha
11	A sua cultura está em estufa?	2 - Não
12	Estaria disposto a alterar o modo de condução da sua cultura?	2 - Não
13	Em relação às horas de frio, o local:	1 - Satisfaz as horas de frio
14	Existem zonas de formação de ar frio acima desta cota e fluxo de ar frio para a parcela?	2 - Não
15	O seu terreno encontra-se num vale?	2 - Não

16	Qual é o declive do terreno?	2 - 1 a 5%
17	O terreno apresenta uma exposição, voltado a:	5 - S
18	Relativamente à ondulação, o seu terreno tem um declive constante para barlavento:	2 - Não
19	Tipo de solo:	1 - Não orgânico
19b	Relativamente à sua cor:	1 - Escuro
20	A espessura de solo é fina?	2 - Não
21	Existe a possibilidade de colocar uma barreira para divergir o ar frio?	2 - Não
22	Encontra-se alguma barreira a bloquear o fluxo de ar frio a jusante?	2 - Não
23	O terreno encontra-se próximo de um centro urbano:	2 - Não
24	Os seus vizinhos suportam possíveis barulhos causados pelos métodos de controlo de geadas?	2 - Não
25	Disponibilidade em água:	1 - Pequena
26	No caso das culturas em estufa, a estrutura aguenta o peso do gelo?	2 - Não
27	Nas noites de geada, em geral, o local apresenta velocidades de vento superiores a 8 Km/s?	2 - Não
28	A localização da cultura é mais suscetível a que tipo de geadas?	1 - Geada de Radiação (GR)
29	Definição da inversão térmica local:	2 - Média
30	O utilizador está disponível a realizar o investimento relativo a instalação de um método de controlo de geadas?	1 - Sim
31	O utilizador tem capacidade para suportar a mão-de-obra e os custos variáveis associados (energia, água, etc.)?	1 - Sim
32	Estaria disposto a mudar o local da cultura?	2 - Não
33	Diga qual a área ocupada pela cultura (em ha):	10 ha
34	Mencione o compasso utilizado (metros na linha x metros na entre linha):	5 x 7 (m x m)
35	Indique a temperatura mínima verificada durante o período sensível da cultura (em °C):	-5 °C
36	Indique a temperatura crítica da sua cultura (em °C):	-3,5 °C
37	Estime o número médio de eventos de geadas durante os estados fenológicos sensíveis:	5

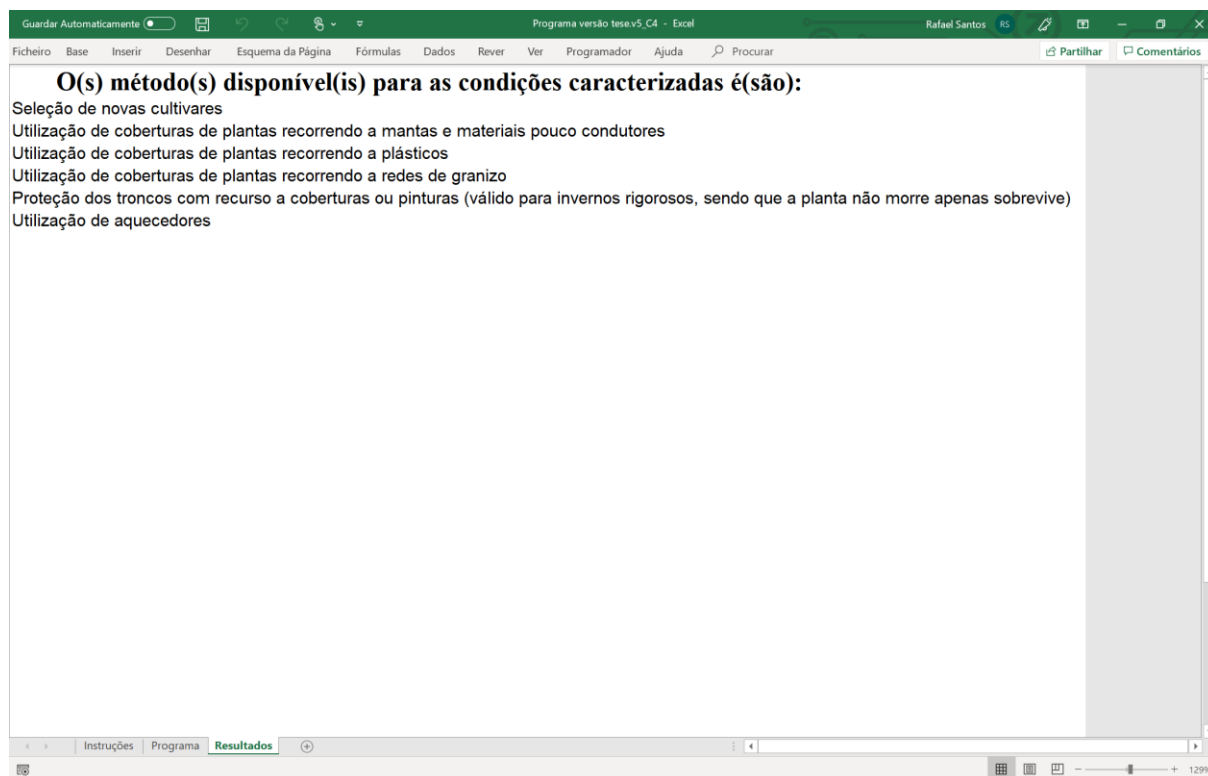


Figura 23 - Resultados obtidos pelo programa para o Caso 4.

Quadro 11 - Exposição das respostas dadas ao formulário do programa para o Caso 5.

### Caso 5

Nº:	Pergunta:	Resposta:
1	Qual é o tipo de cultura que necessita proteção?	1 - Frutícola
2	Relativamente ao ciclo de crescimento, a cultura de interesse é:	2 - Perene de folha caduca
3	Quanto à altura dos órgãos sensíveis, estes estão:	2 - Na média
4	Esta apresenta a capacidade de suportar o peso do gelo formado derivado da utilização dos métodos de proteção?	2 - Não
5	Especifique a orientação das linhas de árvores em relação às curvas de nível:	1 - Perpendicular
6	Estaria disposto a utilizar outra cultivar com maior geado-resistência, caso exista?	2 - Não
7	É tecnicamente viável alterar a nutrição azotada da cultura? (só para culturas permanentes)	2 - Não
8	Está disposto a realizar as obras necessárias?	2 - Não
9	Existe alguma consociação passível de realizar com a sua cultura? (só culturas permanentes)	2 - Não
10	Gestão da entrelinha:	2- Terreno mobilizado durante maior parte da campanha
11	A sua cultura está em estufa?	2 - Não
12	Estaria disposto a alterar o modo de condução da sua cultura?	1 - Sim
13	Em relação às horas de frio, o local:	1 - Satisfaz as horas de frio
14	Existem zonas de formação de ar frio acima desta cota e fluxo de ar frio para a parcela?	2 - Não
15	O seu terreno encontra-se num vale?	2 - Não
16	Qual é o declive do terreno?	2 - 1 a 5%

<b>17</b>	O terreno apresenta uma exposição, voltado a:	5 - S
<b>18</b>	Relativamente à ondulação, o seu terreno tem um declive constante para barlavento:	2 - Não
<b>19</b>	Tipo de solo:	1 - Não orgânico
<b>19b</b>	Relativamente à sua cor:	1 - Escuro
<b>20</b>	A espessura de solo é fina?	2 - Não
<b>21</b>	Existe a possibilidade de colocar uma barreira para divergir o ar frio?	2 - Não
<b>22</b>	Encontra-se alguma barreira a bloquear o fluxo de ar frio a jusante?	2 - Não
<b>23</b>	O terreno encontra-se próximo de um centro urbano:	2 - Não
<b>24</b>	Os seus vizinhos suportam possíveis barulhos causados pelos métodos de controlo de geadas?	2 - Não
<b>25</b>	Disponibilidade em água:	1 - Pequena
<b>26</b>	No caso das culturas em estufa, a estrutura aguenta o peso do gelo?	2 - Não
<b>27</b>	Nas noites de geada, em geral, o local apresenta velocidades de vento superiores a 8 Km/s?	2 - Não
<b>28</b>	A localização da cultura é mais suscetível a que tipo de geadas?	1 - Geada de Radiação (GR)
<b>29</b>	Definição da inversão térmica local:	2 - Média
<b>30</b>	O utilizador está disponível a realizar o investimento relativo a instalação de um método de controlo de geadas?	2 - Não
<b>31</b>	O utilizador tem capacidade para suportar a mão-de-obra e os custos variáveis associados (energia, água, etc.)?	1 - Sim
<b>32</b>	Estaria disposto a mudar o local da cultura?	2 - Não
<b>33</b>	Diga qual a área ocupada pela cultura (em ha):	10 ha
<b>34</b>	Mencione o compasso utilizado (metros na linha x metros na entre linha):	5 x 7 (m x m)
<b>35</b>	Indique a temperatura mínima verificada durante o período sensível da cultura (em °C):	-5 °C
<b>36</b>	Indique a temperatura crítica da sua cultura (em °C):	-3,5 °C
<b>37</b>	Estime o número médio de eventos de geadas durante os estados fenológicos sensíveis:	5



Figura 24 - Resultados obtidos pelo programa para o Caso 5.

Quadro 12 - Exposição das respostas dadas ao formulário do programa para o Caso 6.

<b>Caso 6</b>		
<b>Nº:</b>	<b>Pergunta:</b>	<b>Resposta:</b>
1	Qual é o tipo de cultura que necessita proteção?	1 - Frutícola
2	Relativamente ao ciclo de crescimento, a cultura de interesse é:	2 - Perene de folha caduca
3	Quanto à altura dos órgãos sensíveis, estes estão:	2 - Na média
4	Esta apresenta a capacidade de suportar o peso do gelo formado derivado da utilização dos métodos de proteção?	2 - Não
5	Especifique a orientação das linhas de árvores em relação às curvas de nível:	2 - Paralela
6	Estaria disposto a utilizar outra cultivar com maior geado-resistência, caso exista?	2 - Não
7	É tecnicamente viável alterar a nutrição azotada da cultura? (só para culturas permanentes)	2 - Não
8	Está disposto a realizar as obras necessárias?	2 - Não
9	Existe alguma consociação passível de realizar com a sua cultura? (só culturas permanentes)	2 - Não
10	Gestão da entrelinha:	2- Terreno mobilizado durante maior parte da campanha
11	A sua cultura está em estufa?	2 - Não
12	Estaria disposto a alterar o modo de condução da sua cultura?	1 - Sim
13	Em relação às horas de frio, o local:	2 - Não satisfaz as necessidades em todos os anos
14	Existem zonas de formação de ar frio acima desta cota e fluxo de ar frio para a parcela?	2 - Não
15	O seu terreno encontra-se num vale?	2 - Não
16	Qual é o declive do terreno?	2 - 1 a 5%

17	O terreno apresenta uma exposição, voltado a:	5 - S
18	Relativamente à ondulação, o seu terreno tem um declive constante para barlavento:	2 - Não
19	Tipo de solo:	1 - Não orgânico
19b	Relativamente à sua cor:	1 - Escuro
20	A espessura de solo é fina?	2 - Não
21	Existe a possibilidade de colocar uma barreira para divergir o ar frio?	2 - Não
22	Encontra-se alguma barreira a bloquear o fluxo de ar frio a jusante?	2 - Não
23	O terreno encontra-se próximo de um centro urbano:	2 - Não
24	Os seus vizinhos suportam possíveis barulhos causados pelos métodos de controlo de geadas?	2 - Não
25	Disponibilidade em água:	1 - Pequena
26	No caso das culturas em estufa, a estrutura aguenta o peso do gelo?	2 - Não
27	Nas noites de geada, em geral, o local apresenta velocidades de vento superiores a 8 Km/s?	2 - Não
28	A localização da cultura é mais suscetível a que tipo de geadas?	1 - Geada de Radiação (GR)
29	Definição da inversão térmica local:	2 - Média
30	O utilizador está disponível a realizar o investimento relativo a instalação de um método de controlo de geadas?	2 - Não
31	O utilizador tem capacidade para suportar a mão-de-obra e os custos variáveis associados (energia, água, etc.)?	2 - Não
32	Estaria disposto a mudar o local da cultura?	1 - Sim
33	Diga qual a área ocupada pela cultura (em ha):	10 ha
34	Mencione o compasso utilizado (metros na linha x metros na entre linha):	5 x 7 (m x m)
35	Indique a temperatura mínima verificada durante o período sensível da cultura (em °C):	-6 °C
36	Indique a temperatura crítica da sua cultura (em °C):	-2 °C
37	Estime o número médio de eventos de geadas durante os estados fenológicos sensíveis:	5



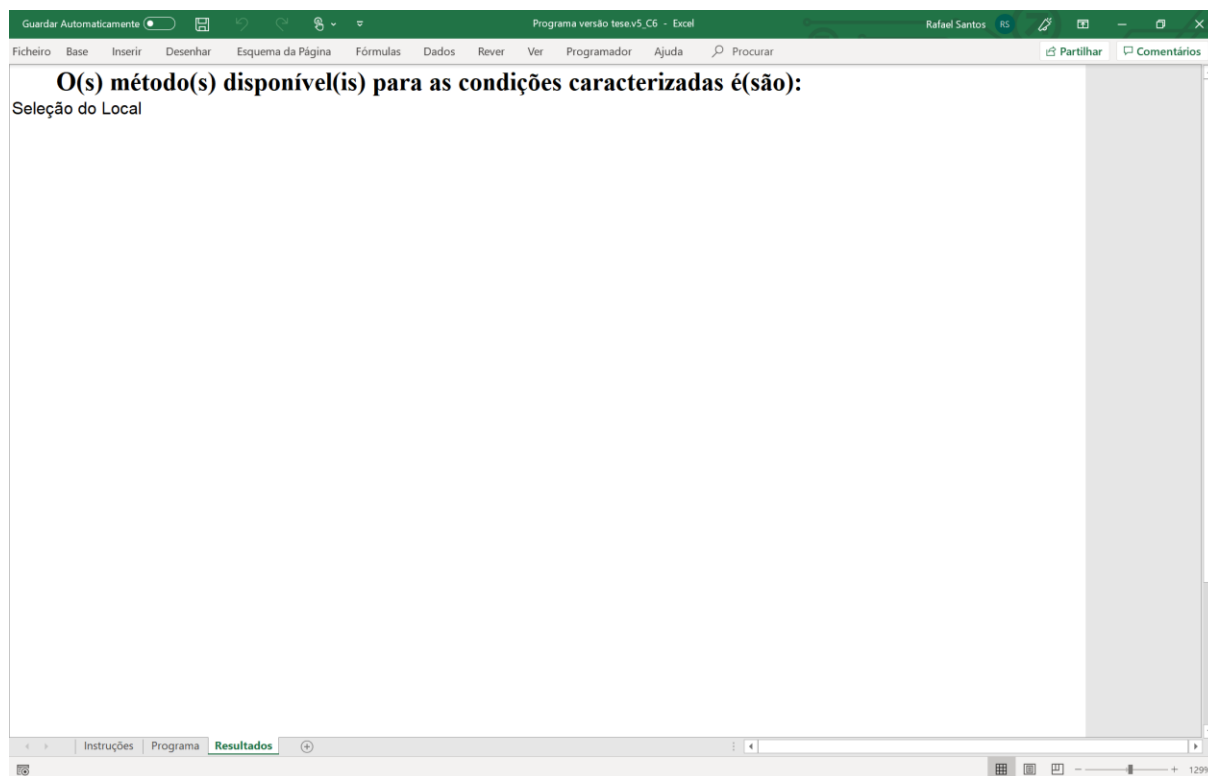


Figura 25 - Resultados obtidos pelo programa para o Caso 6.

Quadro 13 - Exposição das respostas dadas ao formulário do programa para o Caso 7.

### Caso 7

Nº:	Pergunta:	Resposta:
1	Qual é o tipo de cultura que necessita proteção?	1 - Frutícola
2	Relativamente ao ciclo de crescimento, a cultura de interesse é:	3 - Perene de folha persistente
3	Quanto à altura dos órgãos sensíveis, estes estão:	1 - Acima da média
4	Esta apresenta a capacidade de suportar o peso do gelo formado derivado da utilização dos métodos de proteção?	2 - Não
5	Especifique a orientação das linhas de árvores em relação às curvas de nível:	1 - Perpendicular
6	Estaria disposto a utilizar outra cultivar com maior geado-resistência, caso exista?	2 - Não
7	É tecnicamente viável alterar a nutrição azotada da cultura? (só para culturas permanentes)	2 - Não
8	Está disposto a realizar as obras necessárias?	1 - Sim
9	Existe alguma consociação passível de realizar com a sua cultura? (só culturas permanentes)	2 - Não
10	Gestão da entrelinha:	2- Terreno mobilizado durante maior parte da campanha
11	A sua cultura está em estufa?	2 - Não
12	Estaria disposto a alterar o modo de condução da sua cultura?	2 - Não
13	Em relação às horas de frio, o local:	1 - Satisfaz as horas de frio
14	Existem zonas de formação de ar frio acima desta cota e fluxo de ar frio para a parcela?	2 - Não
15	O seu terreno encontra-se num vale?	2 - Não
16	Qual é o declive do terreno?	2 - 1 a 5%

17	O terreno apresenta uma exposição, voltado a:	5 - S
18	Relativamente à ondulação, o seu terreno tem um declive constante para barlavento:	2 - Não
19	Tipo de solo:	1 - Não orgânico
19b	Relativamente à sua cor:	1 - Escuro
20	A espessura de solo é fina?	1 - Sim
21	Existe a possibilidade de colocar uma barreira para divergir o ar frio?	2 - Não
22	Encontra-se alguma barreira a bloquear o fluxo de ar frio a jusante?	2 - Não
23	O terreno encontra-se próximo de um centro urbano:	2 - Não
24	Os seus vizinhos suportam possíveis barulhos causados pelos métodos de controlo de geadas?	1 - Sim
25	Disponibilidade em água:	1 - Pequena
26	No caso das culturas em estufa, a estrutura aguenta o peso do gelo?	2 - Não
27	Nas noites de geada, em geral, o local apresenta velocidades de vento superiores a 8 Km/s?	2 - Não
28	A localização da cultura é mais suscetível a que tipo de geadas?	1 - Geada de Radiação (GR)
29	Definição da inversão térmica local:	2 - Média
30	O utilizador está disponível a realizar o investimento relativo a instalação de um método de controlo de geadas?	1 - Sim
31	O utilizador tem capacidade para suportar a mão-de-obra e os custos variáveis associados (energia, água, etc.)?	1 - Sim
32	Estaria disposto a mudar o local da cultura?	2 - Não
33	Diga qual a área ocupada pela cultura (em ha):	10 ha
34	Mencione o compasso utilizado (metros na linha x metros na entre linha):	5 x 7 (m x m)
35	Indique a temperatura mínima verificada durante o período sensível da cultura (em °C):	-5 °C
36	Indique a temperatura crítica da sua cultura (em °C):	-3 °C
37	Estime o número médio de eventos de geadas durante os estados fenológicos sensíveis:	5

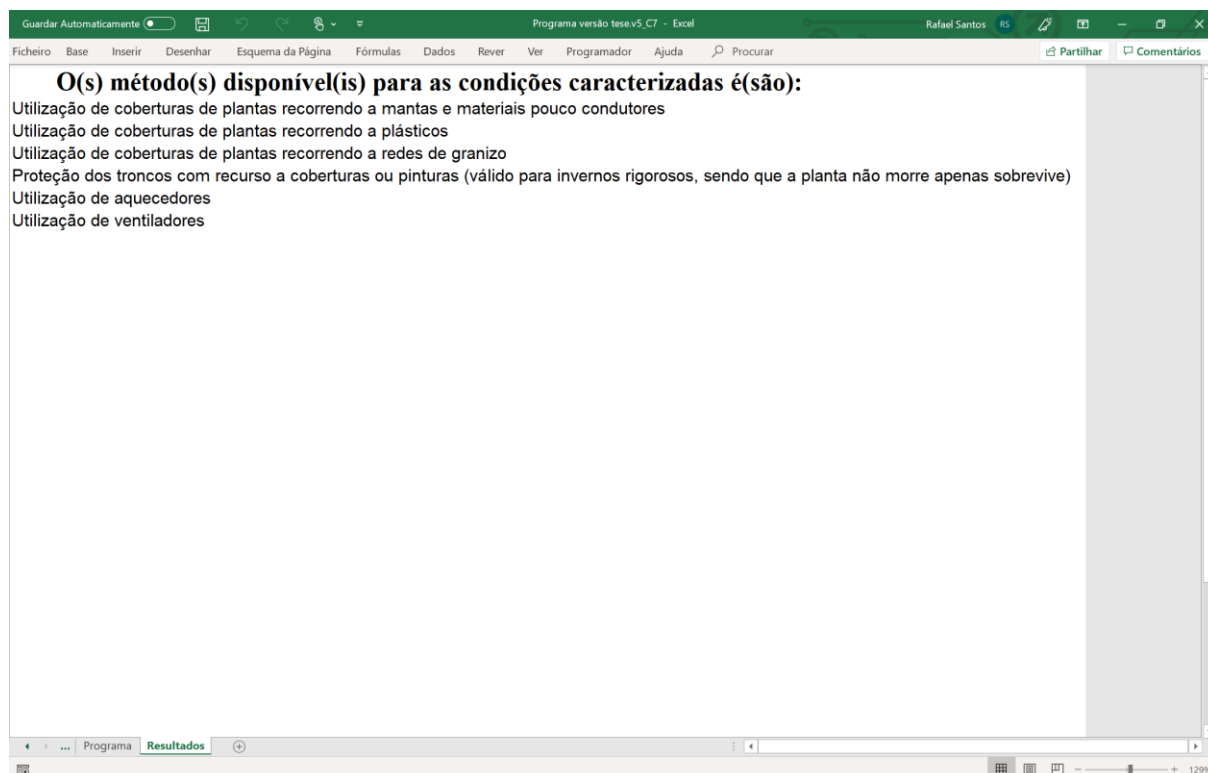


Figura 26 - Resultados obtidos pelo programa para o Caso 7.

Quadro 14 - Exposição das respostas dadas ao formulário do programa para o Caso 8.

### Caso 8

Nº:	Pergunta:	Resposta:
1	Qual é o tipo de cultura que necessita proteção?	1 - Frutícola
2	Relativamente ao ciclo de crescimento, a cultura de interesse é:	3 - Perene de folha persistente
3	Quanto à altura dos órgãos sensíveis, estes estão:	1 - Acima da média
4	Esta apresenta a capacidade de suportar o peso do gelo formado derivado da utilização dos métodos de proteção?	2 - Não
5	Especifique a orientação das linhas de árvores em relação às curvas de nível:	1 - Perpendicular
6	Estaria disposto a utilizar outra cultivar com maior geado-resistência, caso exista?	2 - Não
7	É tecnicamente viável alterar a nutrição azotada da cultura? (só para culturas permanentes)	2 - Não
8	Está disposto a realizar as obras necessárias?	1 - Sim
9	Existe alguma consociação passível de realizar com a sua cultura? (só culturas permanentes)	2 - Não
10	Gestão da entrelinha:	2- Terreno mobilizado durante maior parte da campanha
11	A sua cultura está em estufa?	2 - Não
12	Estaria disposto a alterar o modo de condução da sua cultura?	2 - Não
13	Em relação às horas de frio, o local:	1 - Satisfaz as horas de frio
14	Existem zonas de formação de ar frio acima desta cota e fluxo de ar frio para a parcela?	2 - Não
15	O seu terreno encontra-se num vale?	2 - Não
16	Qual é o declive do terreno?	2 - 1 a 5%

17	O terreno apresenta uma exposição, voltado a:	5 - S
18	Relativamente à ondulação, o seu terreno tem um declive constante para barlavento:	2 - Não
19	Tipo de solo:	1 - Não orgânico
19b	Relativamente à sua cor:	1 - Escuro
20	A espessura de solo é fina?	1 - Sim
21	Existe a possibilidade de colocar uma barreira para divergir o ar frio?	2 - Não
22	Encontra-se alguma barreira a bloquear o fluxo de ar frio a jusante?	2 - Não
23	O terreno encontra-se próximo de um centro urbano:	2 - Não
24	Os seus vizinhos suportam possíveis barulhos causados pelos métodos de controlo de geadas?	1 - Sim
25	Disponibilidade em água:	1 - Pequena
26	No caso das culturas em estufa, a estrutura aguenta o peso do gelo?	2 - Não
27	Nas noites de geada, em geral, o local apresenta velocidades de vento superiores a 8 Km/s?	2 - Não
28	A localização da cultura é mais suscetível a que tipo de geadas?	2 - Geada de Advecção (GA)
29	Definição da inversão térmica local:	2 - Média
30	O utilizador está disponível a realizar o investimento relativo a instalação de um método de controlo de geadas?	1 - Sim
31	O utilizador tem capacidade para suportar a mão-de-obra e os custos variáveis associados (energia, água, etc.)?	1 - Sim
32	Estaria disposto a mudar o local da cultura?	2 - Não
33	Diga qual a área ocupada pela cultura (em ha):	10 ha
34	Mencione o compasso utilizado (metros na linha x metros na entre linha):	5 x 7 (m x m)
35	Indique a temperatura mínima verificada durante o período sensível da cultura (em °C):	-5 °C
36	Indique a temperatura crítica da sua cultura (em °C):	-3 °C
37	Estime o número médio de eventos de geadas durante os estados fenológicos sensíveis:	5

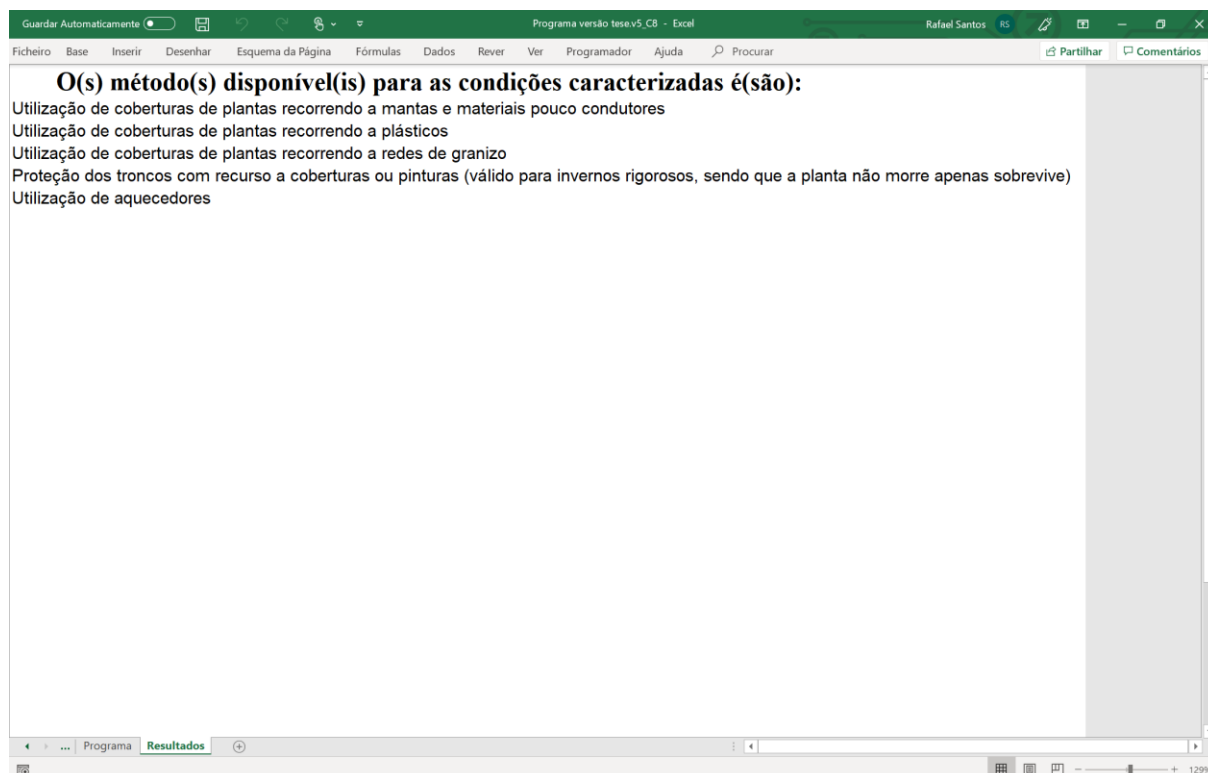


Figura 27 - Resultados obtidos pelo programa para o Caso 8.

Quadro 15 - Exposição das respostas dadas ao formulário do programa para o Caso 9.

### Caso 9

Nº:	Pergunta:	Resposta:
1	Qual é o tipo de cultura que necessita proteção?	1 - Frutícola
2	Relativamente ao ciclo de crescimento, a cultura de interesse é:	3 - Perene de folha persistente
3	Quanto à altura dos órgãos sensíveis, estes estão:	2 - Na média
4	Esta apresenta a capacidade de suportar o peso do gelo formado derivado da utilização dos métodos de proteção?	2 - Não
5	Especifique a orientação das linhas de árvores em relação às curvas de nível:	1 - Perpendicular
6	Estaria disposto a utilizar outra cultivar com maior geado-resistência, caso exista?	2 - Não
7	É tecnicamente viável alterar a nutrição azotada da cultura? (só para culturas permanentes)	1 - Sim
7b	Se sim, estaria disposto a fazê-lo?	1 - Sim
8	Está disposto a realizar as obras necessárias?	2 - Não
9	Existe alguma consociação passível de realizar com a sua cultura? (só culturas permanentes)	2 - Não
10	Gestão da entrelinha:	1 - Presença de espécies vegetais
10b	Se apresenta qualquer tipo de espécie vegetal na entrelinha, estaria disposto a lavrar? (tendo em conta os custos associados)	1 - Sim
11	A sua cultura está em estufa?	2 - Não
12	Estaria disposto a alterar o modo de condução da sua cultura?	2 - Não
13	Em relação às horas de frio, o local:	1 - Satisfaz as horas de frio

14	Existem zonas de formação de ar frio acima desta cota e fluxo de ar frio para a parcela?	2 - Não
15	O seu terreno encontra-se num vale?	2 - Não
16	Qual é o declive do terreno?	2 - 1 a 5%
17	O terreno apresenta uma exposição, voltado a:	5 - S
18	Relativamente à ondulação, o seu terreno tem um declive constante para barlavento:	2 - Não
19	Tipo de solo:	1 - Não orgânico
19b	Relativamente à sua cor:	1 - Escuro
20	A espessura de solo é fina?	2 - Não
21	Existe a possibilidade de colocar uma barreira para divergir o ar frio?	2 - Não
22	Encontra-se alguma barreira a bloquear o fluxo de ar frio a jusante?	2 - Não
23	O terreno encontra-se próximo de um centro urbano:	2 - Não
24	Os seus vizinhos suportam possíveis barulhos causados pelos métodos de controlo de geadas?	1 - Sim
25	Disponibilidade em água:	2 - Média
25b	Qualidade da água disponível:	2 - Média
26	No caso das culturas em estufa, a estrutura aguenta o peso do gelo?	2 - Não
27	Nas noites de geada, em geral, o local apresenta velocidades de vento superiores a 8 Km/s?	2 - Não
28	A localização da cultura é mais suscetível a que tipo de geadas?	1 - Geada de Radiação (GR)
29	Definição da inversão térmica local:	2 - Média
30	O utilizador está disponível a realizar o investimento relativo a instalação de um método de controlo de geadas?	1 - Sim
31	O utilizador tem capacidade para suportar a mão-de-obra e os custos variáveis associados (energia, água, etc.)?	1 - Sim
32	Estaria disposto a mudar o local da cultura?	2 - Não
33	Diga qual a área ocupada pela cultura (em ha):	10 ha
34	Mencione o compasso utilizado (metros na linha x metros na entre linha):	5 x 7 (m x m)
35	Indique a temperatura mínima verificada durante o período sensível da cultura (em °C):	-5 °C
36	Indique a temperatura crítica da sua cultura (em °C):	-3 °C
37	Estime o número médio de eventos de geadas durante os estados fenológicos sensíveis:	5

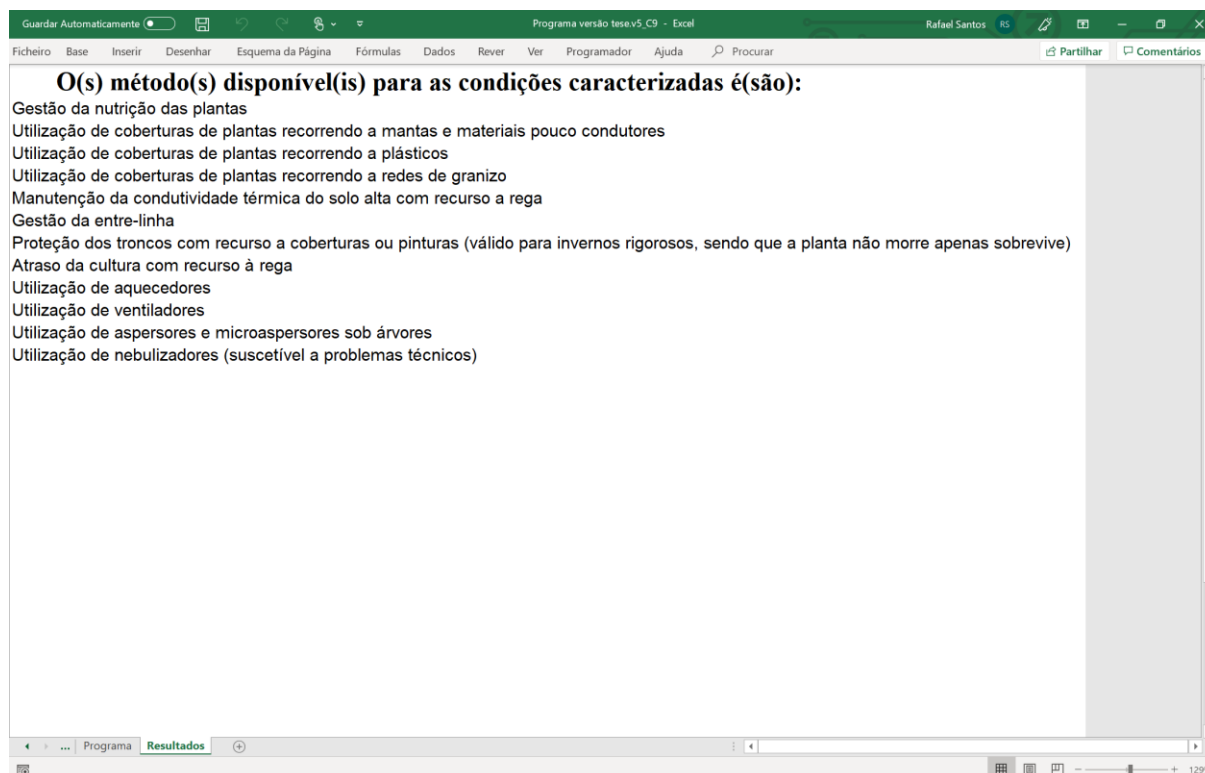


Figura 28 - Resultados obtidos pelo programa para o Caso 9.

Quadro 16 - Exposição das respostas dadas ao formulário do programa para o Caso 10.

### Caso 10

Nº:	Pergunta:	Resposta:
1	Qual é o tipo de cultura que necessita proteção?	1 - Frutícola
2	Relativamente ao ciclo de crescimento, a cultura de interesse é:	3 - Perene de folha persistente
3	Quanto à altura dos órgãos sensíveis, estes estão:	2 - Na média
4	Esta apresenta a capacidade de suportar o peso do gelo formado derivado da utilização dos métodos de proteção?	2 - Não
5	Especifique a orientação das linhas de árvores em relação às curvas de nível:	1 - Perpendicular
6	Estaria disposto a utilizar outra cultivar com maior geado-resistência, caso exista?	2 - Não
7	É tecnicamente viável alterar a nutrição azotada da cultura? (só para culturas permanentes)	2 - Não
8	Está disposto a realizar as obras necessárias?	2 - Não
9	Existe alguma consociação passível de realizar com a sua cultura? (só culturas permanentes)	1 - Sim
9b	Se sim, estaria disposto a fazê-lo?	1 - Sim
10	Gestão da entrelinha:	2- Terreno mobilizado durante maior parte da campanha
11	A sua cultura está em estufa?	2 - Não
12	Estaria disposto a alterar o modo de condução da sua cultura?	2 - Não
13	Em relação às horas de frio, o local:	1 - Satisfaz as horas de frio
14	Existem zonas de formação de ar frio acima desta cota e fluxo de ar frio para a parcela?	2 - Não
15	O seu terreno encontra-se num vale?	2 - Não

16	Qual é o declive do terreno?	2 - 1 a 5%
17	O terreno apresenta uma exposição, voltado a:	5 - S
18	Relativamente à ondulação, o seu terreno tem um declive constante para barlavento:	1 - Sim
19	Tipo de solo:	1 - Não orgânico
19b	Relativamente à sua cor:	1 - Escuro
20	A espessura de solo é fina?	2 - Não
21	Existe a possibilidade de colocar uma barreira para divergir o ar frio?	2 - Não
22	Encontra-se alguma barreira a bloquear o fluxo de ar frio a jusante?	2 - Não
23	O terreno encontra-se próximo de um centro urbano:	2 - Não
24	Os seus vizinhos suportam possíveis barulhos causados pelos métodos de controlo de geadas?	2 - Não
25	Disponibilidade em água:	1 - Pequena
26	No caso das culturas em estufa, a estrutura aguenta o peso do gelo?	2 - Não
27	Nas noites de geada, em geral, o local apresenta velocidades de vento superiores a 8 Km/s?	2 - Não
28	A localização da cultura é mais suscetível a que tipo de geadas?	2 - Geada de Advecção (GA)
29	Definição da inversão térmica local:	2 - Média
30	O utilizador está disponível a realizar o investimento relativo a instalação de um método de controlo de geadas?	1 - Sim
31	O utilizador tem capacidade para suportar a mão-de-obra e os custos variáveis associados (energia, água, etc.)?	1 - Sim
32	Estaria disposto a mudar o local da cultura?	2 - Não
33	Diga qual a área ocupada pela cultura (em ha):	10 ha
34	Mencione o compasso utilizado (metros na linha x metros na entre linha):	3 x 6 (m x m)
35	Indique a temperatura mínima verificada durante o período sensível da cultura (em °C):	-5 °C
36	Indique a temperatura crítica da sua cultura (em °C):	-4 °C
37	Estime o número médio de eventos de geadas durante os estados fenológicos sensíveis:	5



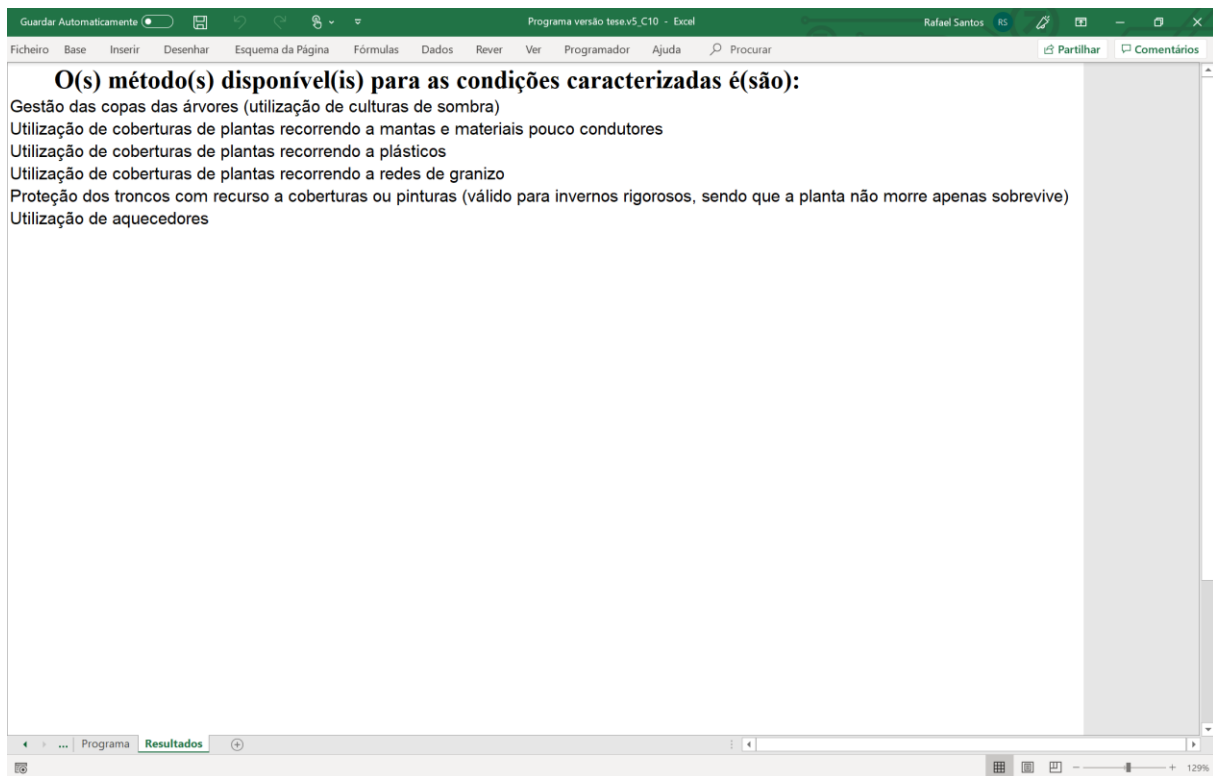


Figura 29 - Resultados obtidos pelo programa para o Caso 10.

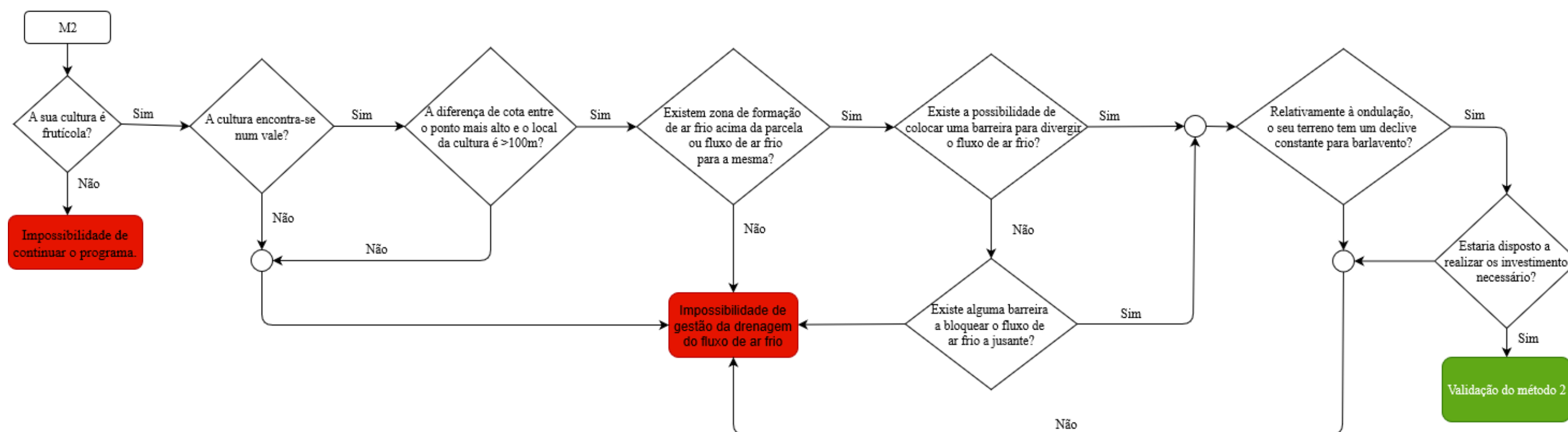
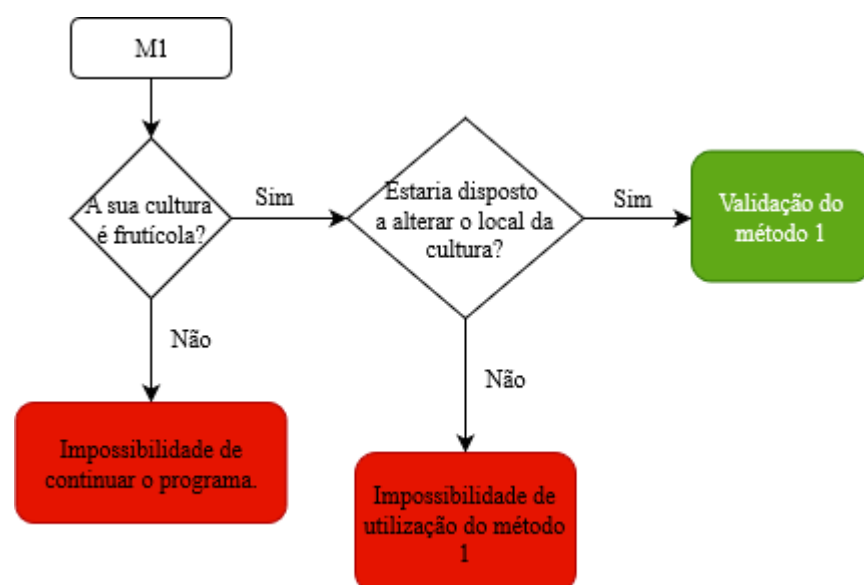


Figura 30 - Fluxogramas explicativos dos caminhos possíveis que o programa pode tomar, consoante as respostas do utilizador, no caso dos métodos 1 e 2.

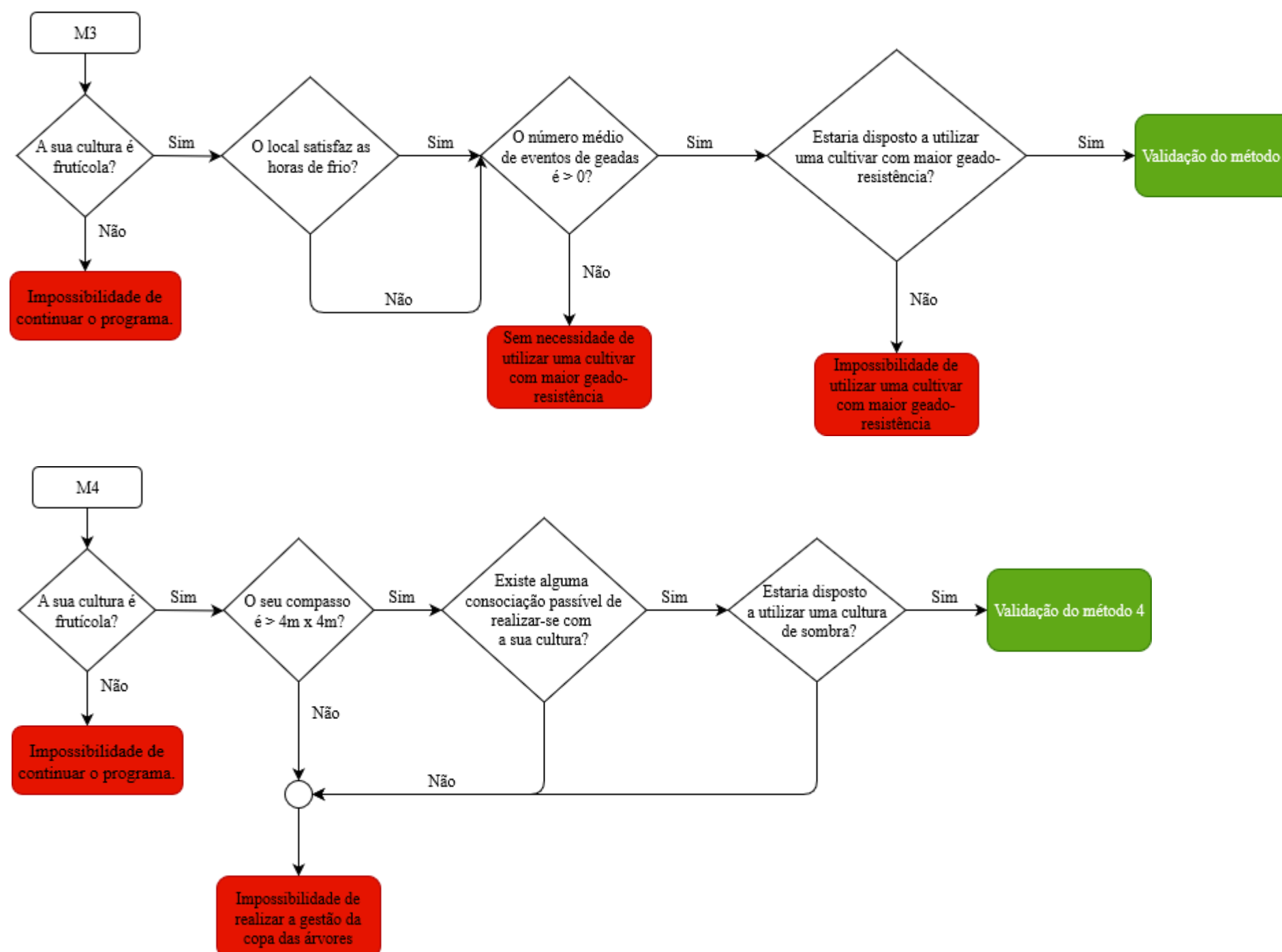


Figura 31 - Fluxogramas explicativos dos caminhos possíveis que o programa pode tomar, consoante as respostas do utilizador, no caso dos métodos 3 e 4.

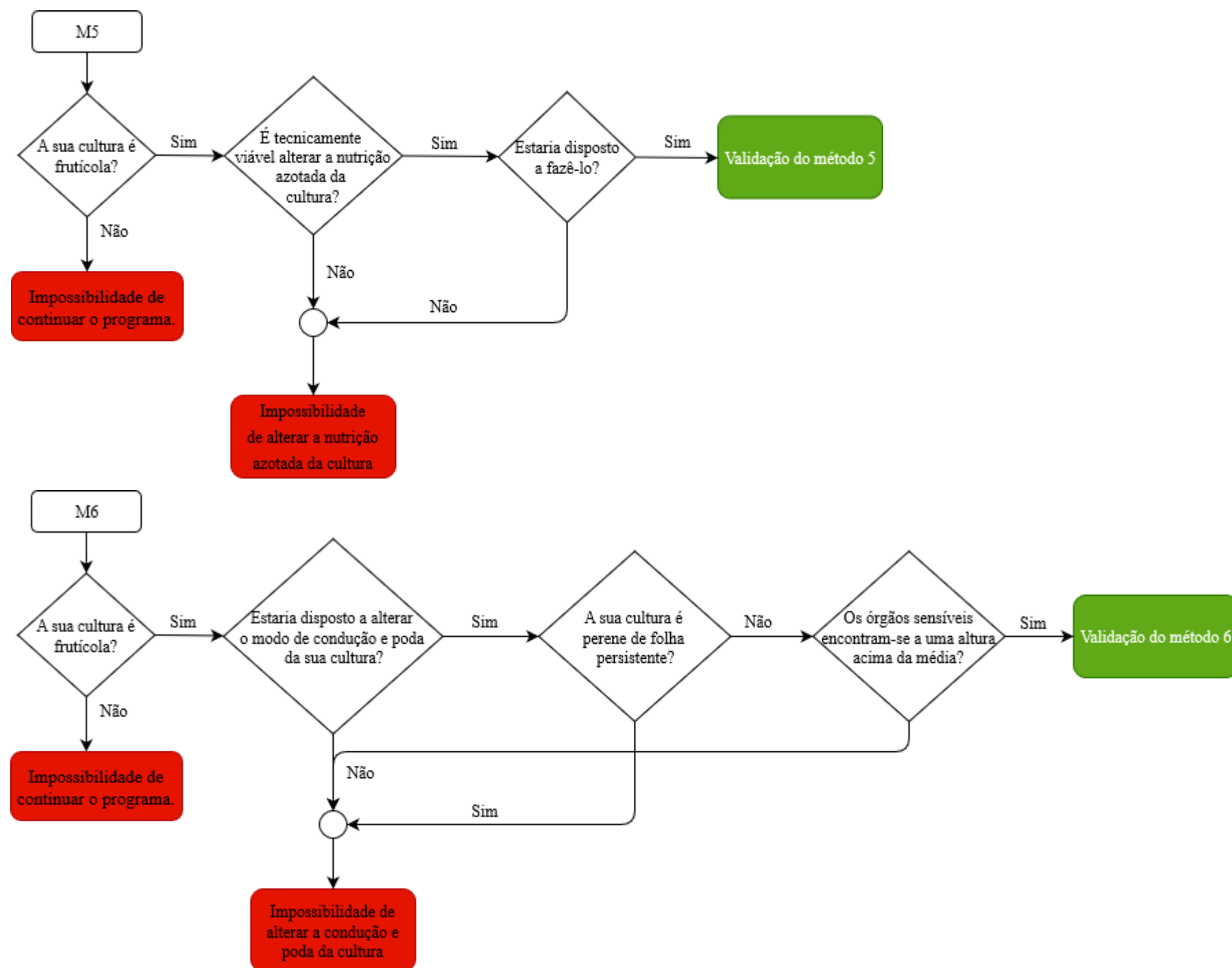


Figura 32 - Fluxogramas explicativos dos caminhos possíveis que o programa pode tomar, consoante as respostas do utilizador, no caso dos métodos 5 e 6.

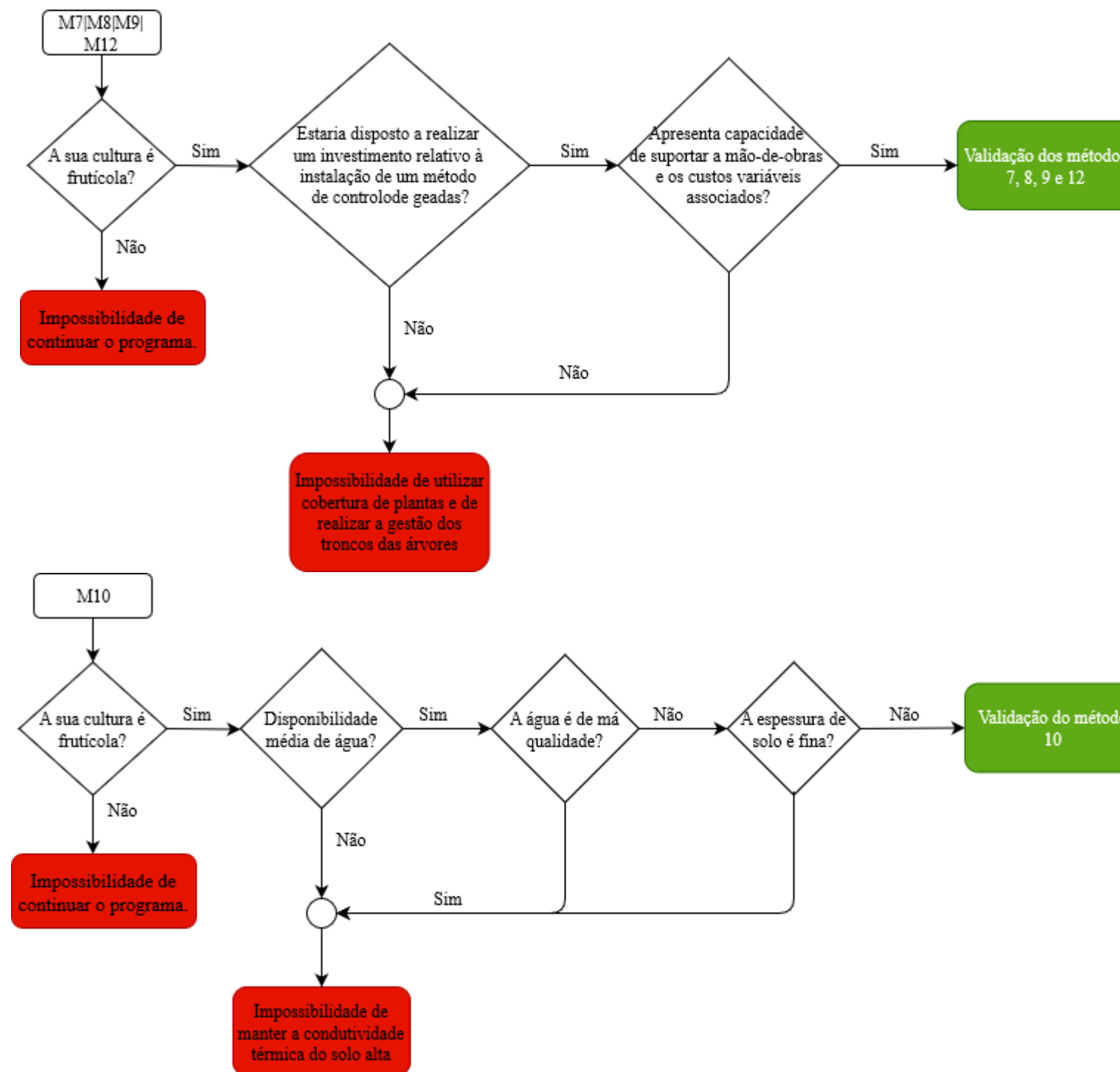


Figura 33 - Fluxogramas explicativos dos caminhos possíveis que o programa pode tomar, consoante as respostas do utilizador, no caso dos métodos 7, 8, 9, 10 e 12.

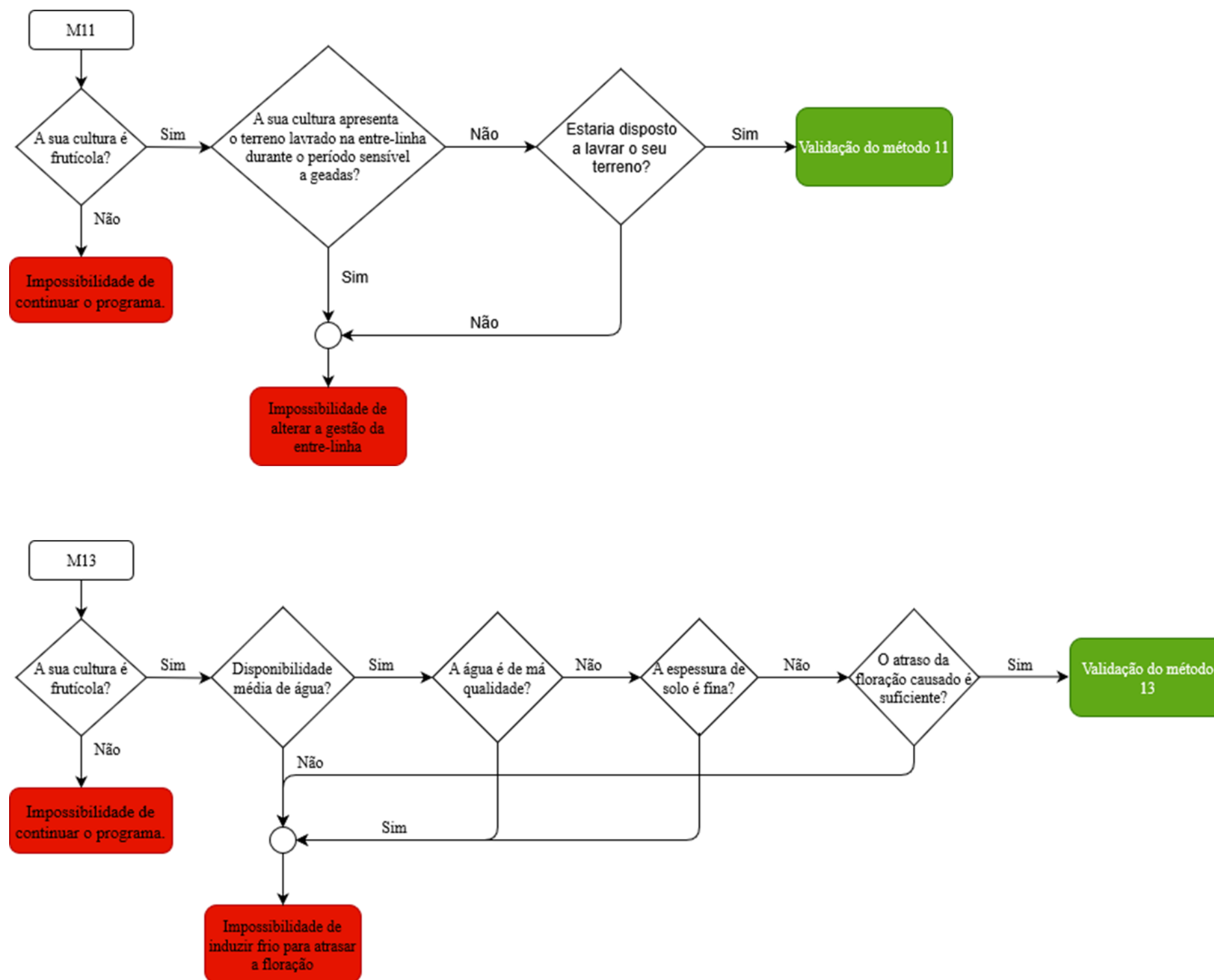


Figura 34 - Fluxogramas explicativos dos caminhos possíveis que o programa pode tomar, consoante as respostas do utilizador, no caso dos métodos 11 e 13.

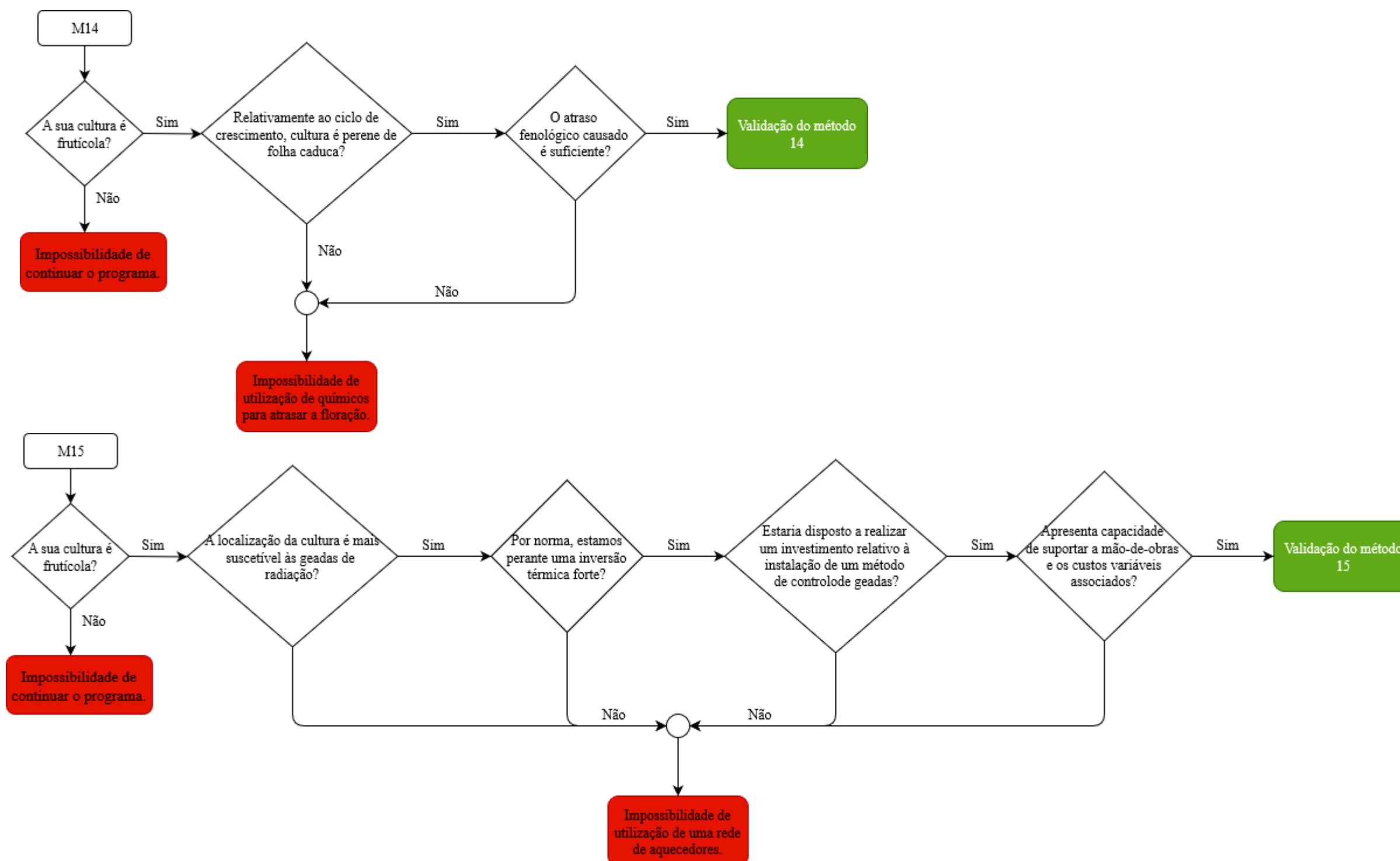


Figura 35 - Fluxogramas explicativos dos caminhos possíveis que o programa pode tomar, consoante as respostas do utilizador, no caso dos métodos 14 e 15.

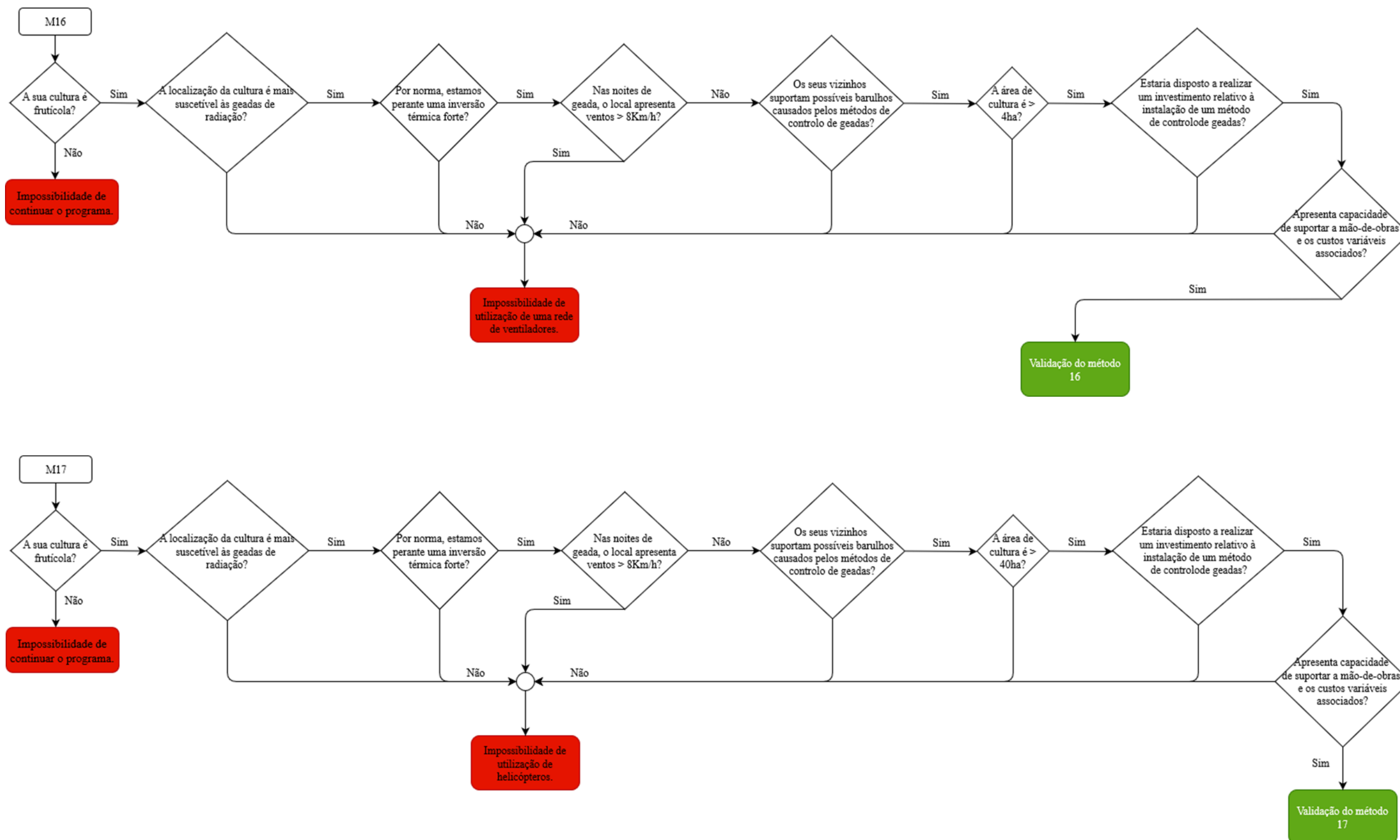


Figura 36 - Fluxogramas explicativos dos caminhos possíveis que o programa pode tomar, consoante as respostas do utilizador, no caso dos métodos 16 e 17.



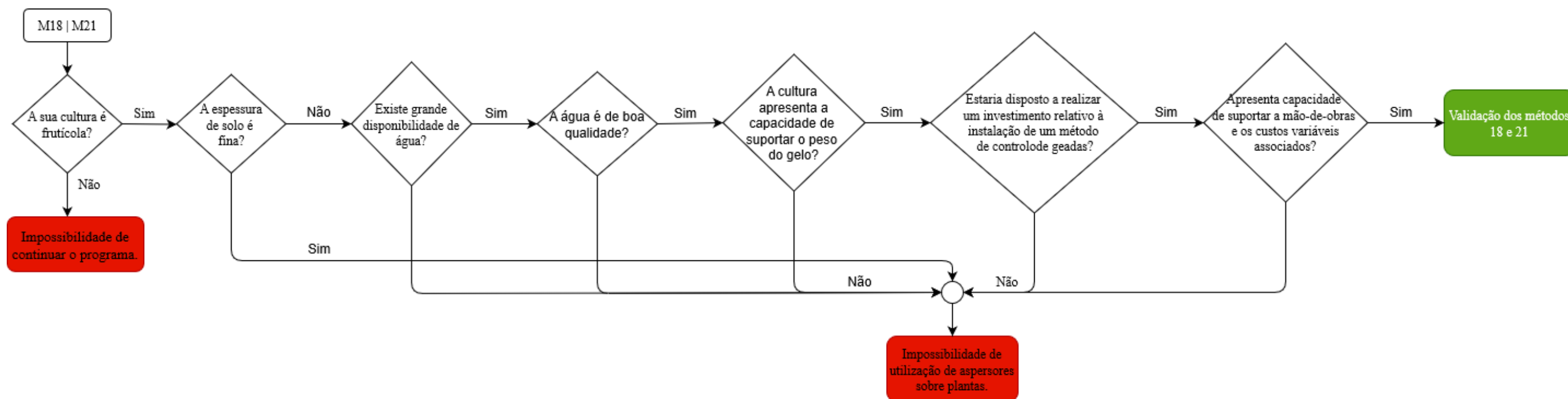


Figura 37 - Fluxograma explicativo dos caminhos possíveis que o programa pode tomar, consoante as respostas do utilizador, no caso dos métodos 18 e 21.

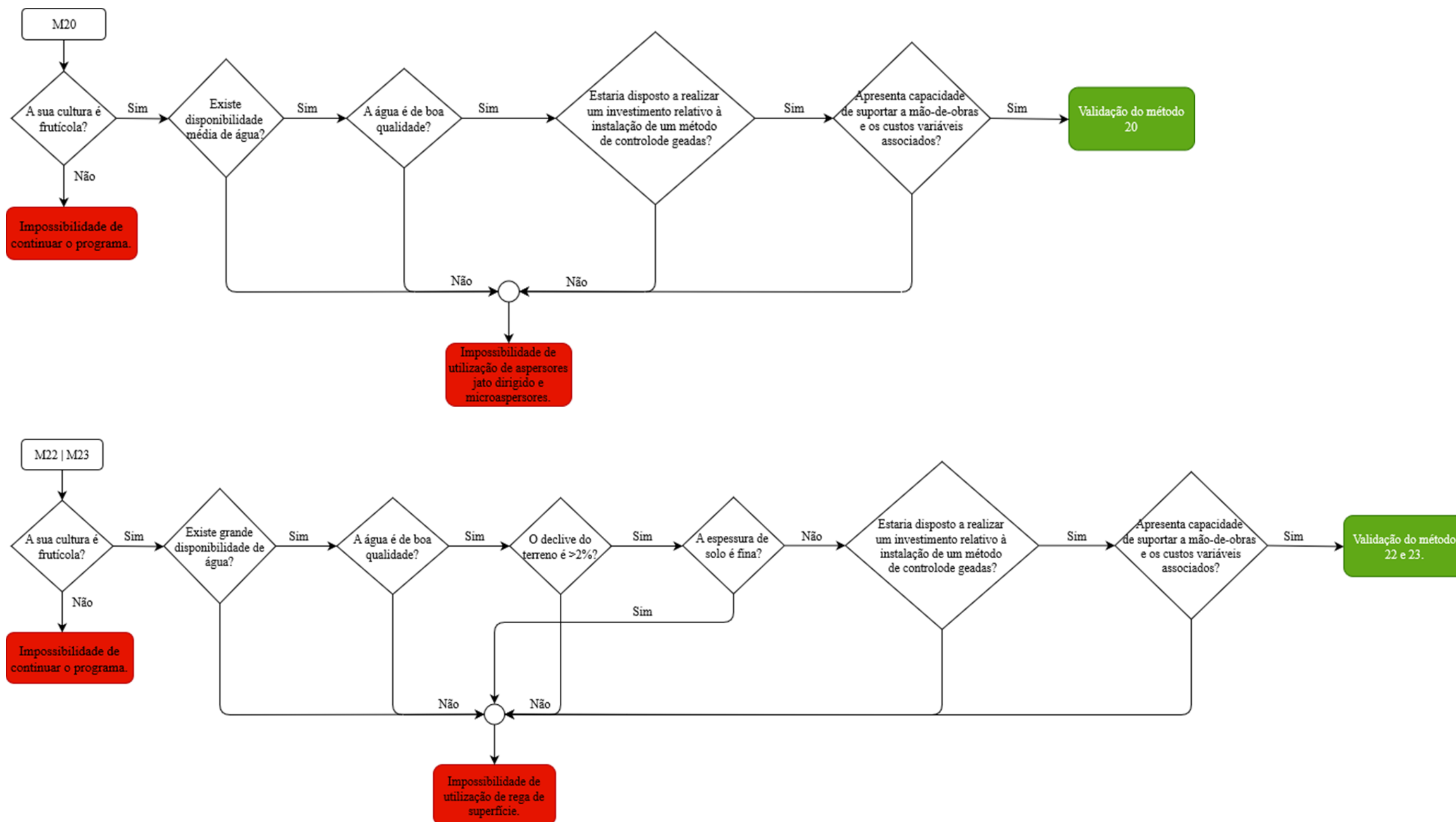


Figura 38 - Fluxogramas explicativos dos caminhos possíveis que o programa pode tomar, consoante as respostas do utilizador, no caso dos métodos 20, 22 e 23.

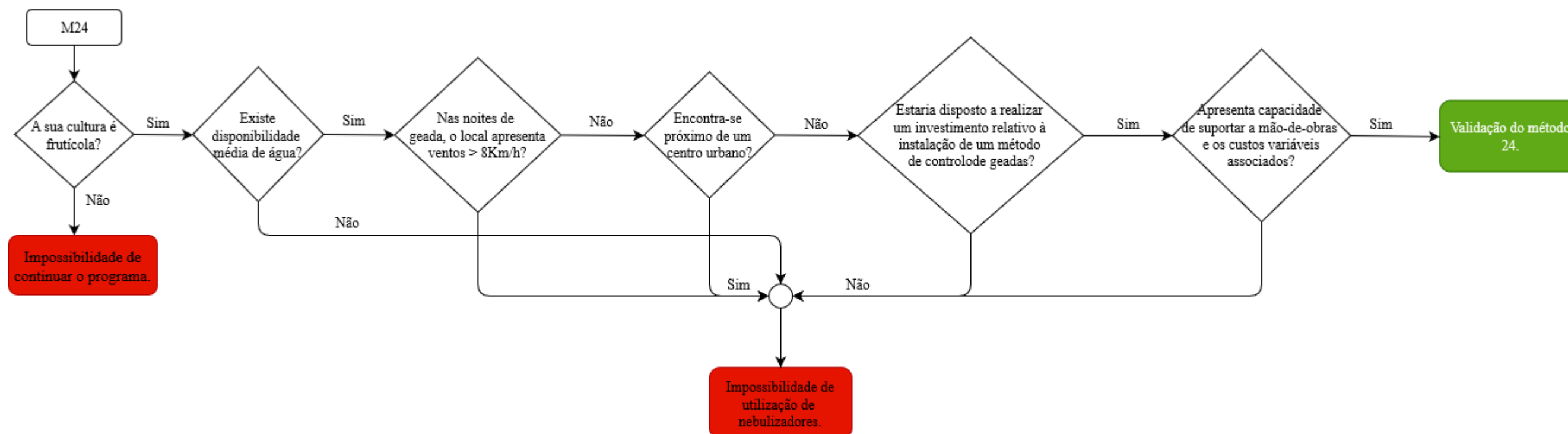


Figura 39 - Fluxograma explicativo dos caminhos possíveis que o programa pode tomar, consoante as respostas do utilizador, no caso do método 24.